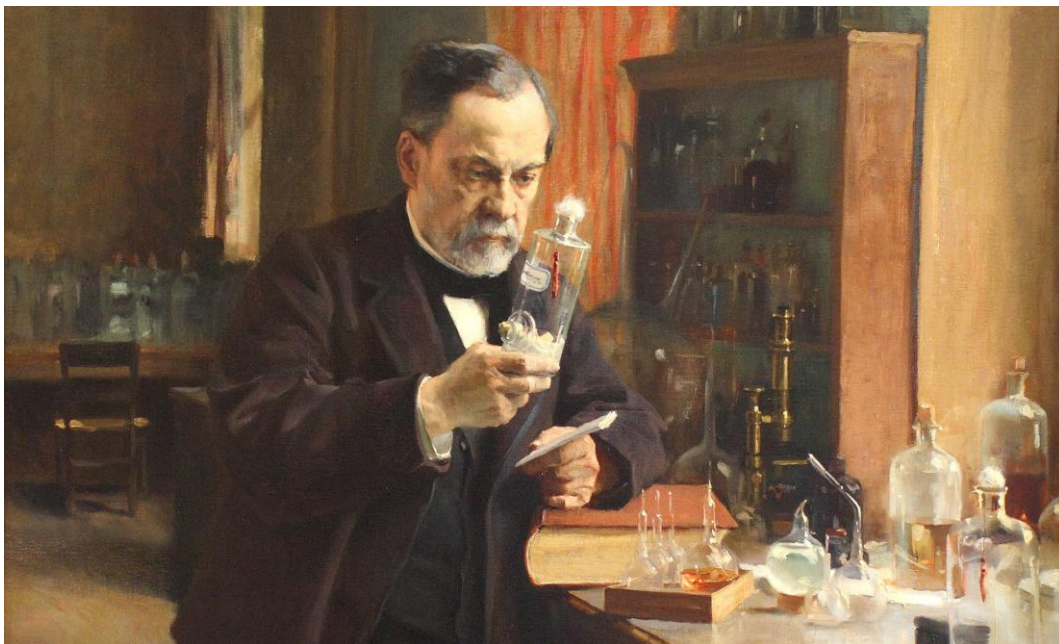


éducation | conférences | évènements  
la médiation scientifique  
ateliers | animations | formation | exposés



# Pasteur l'expérimentateur

14 décembre 2017 – 19 août 2018  
Enseignants de cycle 3, de cycle 4 et de lycée



## Département Éducation et Formation

Palais de la découverte  
Avenue Franklin D. Roosevelt  
75008 Paris  
[www.palais-decouverte.fr](http://www.palais-decouverte.fr)

2017

DU 14 DÉCEMBRE 2017 AU 19 AOÛT 2018

EXPO

# PASTEUR



Palais  
DÉCOUVERTE

## L'EXPERIMENTATEUR

FRANKLIN ROOSEVELT CHAMPS-ÉLYSÉES CLEMENCEAU  
PALAIS-DECOUVERTE.FR / #EXPOPASTEUR



AVEC LA COLLABORATION DE  
Institut Pasteur

AGENCIER  
SANOFI PASTEUR

arte 20 l'express SCIENCE #éléphant Usbek & Rica **thelance** VRAIES **Wondercity** IHUFFPOST!

# Sommaire

<b>I</b>	<b>Liens avec les programmes scolaires</b>	<b>4</b>
<b>II</b>	<b>L'exposition <i>Pasteur l'expérimentateur</i></b>	
	II.1 Situation et plan	15
	II.2 Contexte et partis pris	17
	II.3 Contenu	19
<b>III</b>	<b>Ressources</b>	
	III.1 Au sein de l'exposition	34
	III.2 Les éditions	35
	III.3 Bibliographie	36
	III.4 Thème : le phénomène de contagion	38
	III.5 Thème : la vaccination	44
	III.6 Glossaire	46
	III.7 Idées d'activités pour la classe	
	III.7.1 La filtration de l'eau et la recherche de bactéries	48
	III.7.2 De main en main	52
	III.7.3 De la vie dans la salive et la sueur ?	53
	III.7.4 La vaccination	54
	III.7.5 Du pain et des bulles	54
	III.7.6 Questions diverses	64
<b>IV</b>	<b>Informations pratiques</b>	<b>65</b>

# I Liens avec les programmes scolaires

## Cycle 2 – Cycle 3 – Cycle 4 Socle commun de connaissances, de compétences et de culture

### Domaine 4 : Les systèmes naturels et les systèmes techniques

#### Démarches scientifiques

L'élève sait mener une démarche d'investigation. Pour cela, il décrit et questionne ses observations ; il prélève, organise et traite l'information utile ; il formule des hypothèses, les teste et les éprouve ; il manipule, explore plusieurs pistes, procède par essais et erreurs ; il modélise pour représenter une situation ; il analyse, argumente, mène différents types de raisonnements (par analogie, déduction logique...) ; il rend compte de sa démarche. Il exploite et communique les résultats de mesures ou de recherches en utilisant les langages scientifiques à bon escient.

L'élève pratique le calcul, mental et écrit, exact et approché, il estime et contrôle les résultats, notamment en utilisant les ordres de grandeur. Il résout des problèmes impliquant des grandeurs variées (géométriques, physiques, économiques...), en particulier des situations de proportionnalité. Il interprète des résultats statistiques et les représente graphiquement.

## Cycle 3 : CM1 – CM2 – 6<sup>e</sup> Programmes d'enseignement de l'école élémentaire et du collège

#### Enseignement moral et civique

Le jugement : penser par soi-même et avec les autres (développer les aptitudes à la réflexion critique. Différencier son intérêt particulier de l'intérêt général).

L'engagement : agir individuellement et collectivement.

#### Histoire

- Classe de CM1 : le temps de la Révolution et de l'Empire.
- Classe de CM2 : le temps de la République. L'âge industriel en France.

#### Sciences et technologie

- Matière, mouvement, énergie, information (décrire les états et la constitution de la matière à l'échelle macroscopique).

- Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent (classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes, expliquer les besoins variables en aliments de l'être humain ; l'origine et les techniques mises en œuvre pour transformer et conserver les aliments, décrire comment les êtres vivants se développent et deviennent aptes à se reproduire, expliquer l'origine de la matière organique des êtres vivants et son devenir).
- Matériaux et objets techniques (identifier les principales évolutions du besoin et des objets, décrire le fonctionnement d'objets techniques, leurs fonctions et leurs constitutions, concevoir et produire tout ou partie d'un objet technique en équipe pour traduire une solution technologique répondant à un besoin).
- La planète Terre. Les êtres vivants dans leur environnement (identifier des enjeux liés à l'environnement).

### Mathématiques

- Grandeurs et mesures (comparer, estimer, mesurer des grandeurs géométriques avec des nombres entiers et des nombres décimaux : longueur (périmètre), aire, volume, angle. Utiliser le lexique, les unités, les instruments de mesures spécifiques de ces grandeurs).
- Espace et géométrie ((se) repérer et (se) déplacer dans l'espace en utilisant ou en élaborant des représentations. Reconnaître, nommer, décrire, reproduire, représenter, construire quelques solides et figures géométriques. Reconnaître et utiliser quelques relations géométriques).

## Cycle 4 : 5<sup>e</sup> – 4<sup>e</sup> – 3<sup>e</sup>

### Programmes d'enseignement de l'école élémentaire et du collège

EPI possibles, thématiques « Information, communication, citoyenneté », « Sciences, technologie et société », « Corps, santé, bien-être et sécurité » en lien avec le français, l'histoire, la géographie, l'enseignement moral et civique, la physique-chimie, les sciences de la vie et de la Terre.

#### Enseignement moral et civique

La sensibilité : soi et les autres (se sentir membre d'une collectivité)

Le jugement : penser par soi-même et avec les autres (développer les aptitudes à la réflexion critique. Différencier son intérêt particulier de l'intérêt général).

L'engagement : agir individuellement et collectivement.

#### Histoire

- Classe de 4<sup>e</sup> : l'Europe et le monde au XIX<sup>e</sup> siècle. Société, culture et politique dans la France du XIX<sup>e</sup> siècle.
- Classe de 3<sup>e</sup> : l'Europe, un théâtre majeur des guerres totales (1914-1945).

## **Géographie**

- Classe de 5<sup>e</sup> : la question démographique et l'inégal développement. Des ressources limitées, à gérer et à renouveler. Prévenir les risques, s'adapter au changement global.
- Classe de 4<sup>e</sup> : l'urbanisation du monde. Les mobilités humaines transnationales.

## **Physique-Chimie**

- Organisation et transformations de la matière (décrire la constitution et les états de la matière. Décrire et expliquer des transformations chimiques).

## **Sciences de la vie et de la Terre**

- Le vivant et son évolution (expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps, mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer la nutrition des organismes, la dynamique des populations, la classification du vivant, la biodiversité, la diversité génétique des individus, l'évolution des êtres vivants).
- Le corps humain et la santé (expliquer quelques processus biologiques impliqués dans le fonctionnement de l'organisme humain, jusqu'au niveau moléculaire, relier la connaissance de ces processus biologiques aux enjeux liés aux comportements responsables individuels et collectifs en matière de santé).

## **Technologie**

- Design, innovation et créativité (imaginer des solutions en réponse aux besoins, matérialiser des idées en intégrant une dimension design).
- Les objets techniques, les services et les changements induits dans la société (comparer et commenter les évolutions des objets et systèmes, exprimer sa pensée à l'aide d'outils de description adaptés).
- La modélisation et la simulation des objets et systèmes techniques (analyser le fonctionnement et la structure d'un objet, utiliser une modélisation et simuler le comportement d'un objet).

## **Mathématiques**

- Organisation et gestion de données, fonctions (interpréter, représenter et traiter des données. Comprendre et utiliser des notions élémentaires de probabilités).
- Grandeurs et mesures (calculer avec des grandeurs mesurables ; exprimer les résultats dans les unités adaptées. Comprendre l'effet de quelques transformations sur des grandeurs géométriques).
- Espace et géométrie (représenter l'espace. Utiliser les notions de géométrie plane pour démontrer).

## **Éducation aux médias et à l'information**

- Utiliser les médias et les informations de manière autonome.
- Exploiter l'information de manière raisonnée.
- Utiliser les médias de manière responsable.
- Produire, communiquer, partager des informations.

## Lycée : 2<sup>de</sup> générale et technologique

### Mathématiques

- Géométrie (géométrie dans l'espace).
- Statistiques et probabilités (statistique descriptive, analyse de données. Échantillonnage. Probabilité sur un ensemble fini).

### Physique-chimie

- La santé (le diagnostic médical. Les médicaments).

### Histoire

- Les Européens dans le peuplement de la Terre.
- Nouveaux horizons géographiques et culturels des Européens à l'époque moderne (l'essor d'un nouvel esprit scientifique et technique XVI<sup>e</sup> – XVIII<sup>e</sup> siècle).
- Révolutions, libertés, nations, à l'aube de l'époque contemporaine.

### Sciences de la vie et de la Terre

- La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée (les conditions de la vie : une particularité de la Terre ? La nature du vivant. La biodiversité, résultat et étape de l'évolution).
- Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol (le sol : un patrimoine durable ?)
- Corps humain et santé : l'exercice physique.

### Enseignements d'exploration

Santé et social : action humanitaire. Vivre ensemble sur un territoire. Handicap au quotidien. Hôpital : image et réalités. Les âges extrêmes de la vie. Accueil de la petite enfance.

Biotechnologies : bioindustries (industries agro-alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques). Santé (diagnostics, traitement, prévention). Environnement (pollution, dépollution, amélioration de la production, contrôles de la qualité de l'eau, de l'air, du sol et des surfaces).

Méthodes et pratiques scientifiques : science et aliments (conservation). Science et prévention des risques d'origine humaine (sécurité sanitaire). Science et vision du monde.

## Lycée : 1<sup>re</sup> et terminale

### Voie générale

#### Enseignement moral et civique

- 1<sup>re</sup> : exercer sa citoyenneté dans la République française et l'Union européenne (s'engager). Les enjeux moraux et civiques de la société de l'information (questions éthiques majeures posées par l'usage individuel et collectif du numérique. Spécificité et rôle des différents médias et éléments de méthode permettant la compréhension critique des informations dont ils sont porteurs et des réactions qu'ils suscitent).

- Terminale : pluralisme des croyances et laïcité. Biologie, éthique, société et environnement.

### ✓ Série ES

- 1<sup>re</sup>. Histoire : croissance économique, mondialisation et mutations des sociétés depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (mutation des sociétés). Les Français et la République (la République, trois républiques. La République et les évolutions de la société française). Mathématiques : pourcentage. Statistiques et probabilités (statistique descriptive, analyse de données. Probabilités. Échantillonnage). Sciences économiques et sociales : la production dans l'entreprise. La coordination par le marché. Entreprise, institution, organisation. Action publique et régulation. Sciences : nourrir l'humanité (vers une agriculture durable au niveau de la planète. Qualité et innocuité des aliments : le contenu de nos assiettes).
- Terminale. Histoire : idéologies et opinions en Europe de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à nos jours (médias et opinion publique). Géographie : dynamiques géographiques de grandes aires continentales. Mathématiques : probabilités et statistique (conditionnement. Notion de loi à densité à partir d'exemples. Intervalle de fluctuation. Estimation). Mathématiques (spécialité) : problèmes traitant de phénomènes évolutifs. Philosophie : la culture (le travail et la technique, la religion). La raison et le réel (la démonstration, l'interprétation, la matière et l'esprit, la vérité). La politique (la société et les échanges, la justice et le droit, l'État). La morale (la liberté, le devoir, le bonheur). Sciences économiques et sociales : voir le programme de 1<sup>re</sup>.

### ✓ Série L

- 1<sup>re</sup>. Histoire : Croissance économique, mondialisation et mutations des sociétés depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (mutation des sociétés). Les Français et la République (la République, trois républiques. La République et les évolutions de la société française). Mathématiques : pourcentage. Statistiques et probabilités (statistique descriptive, analyse de données. Probabilités. Échantillonnage). Sciences : nourrir l'humanité (vers une agriculture durable au niveau de la planète. Qualité et innocuité des aliments : le contenu de nos assiettes).
- Terminale. Histoire : idéologies et opinions en Europe de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à nos jours (médias et opinion publique). Géographie : dynamiques géographiques de grandes aires continentales. Mathématiques (spécialité) : probabilités et statistique (conditionnement. Notion de loi à densité à partir d'exemples. Intervalle de fluctuation. Estimation). Philosophie : la culture (le travail et la technique, la religion). La raison et le réel (théorie et expérience, la démonstration, l'interprétation, le vivant, la matière et l'esprit, la vérité). La politique (la société, la justice et le droit, l'État). La morale (la liberté, le devoir, le bonheur).



## ✓ Série S

- 1<sup>re</sup>. Histoire : Croissance économique, mondialisation et mutations des sociétés depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (mutation des sociétés). Les Français et la République (la République, trois républiques. La République et les évolutions de la société française). Mathématiques : statistiques et probabilités (statistique descriptive, analyse de données. Probabilités. Échantillonnage). Physique-chimie : comprendre (cohésion et transformations de la matière), agir (synthétiser des molécules et fabriquer de nouveaux matériaux, créer et innover). Sciences de la vie et de la Terre : la Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant (expression, stabilité et variation du patrimoine génétique). Enjeux planétaires contemporains (nourrir l'humanité). Corps humain et santé (variation génétique et santé). Sciences de l'ingénieur : analyser, modéliser, expérimenter, communiquer.
- Terminale. Mathématiques : probabilités et statistique (conditionnement, indépendance. Notion de loi à densité à partir d'exemples. Intervalle de fluctuation. Estimation. Physique-chimie : observer (ondes et particules, caractéristiques et propriétés des ondes). Comprendre (temps, mouvement et évolution. Structure et transformation de la matière. Agir (économiser les ressources et respecter l'environnement. Synthétiser des molécules, fabriquer de nouveaux matériaux). Créer et innover. Sciences de l'ingénieur : analyser, modéliser, expérimenter, communiquer. Sciences de la vie et de la Terre : la Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant (le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique. Diversification génétique et diversification des êtres vivants. De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité. Les relations entre organisation et mode de vie, résultat de l'évolution : l'exemple de la vie fixée chez les plantes). Enjeux planétaires contemporains (la plante domestiquée). Corps humain et santé (la réaction inflammatoire, un exemple de réponse innée. L'immunité adaptative, prolongement de l'immunité innée. Le phénotype immunitaire au cours de la vie. Le réflexe myotatique, un exemple de commande réflexe du muscle. De la volonté au mouvement). Philosophie : la culture (le travail et la technique, la religion). La raison et le réel (la démonstration, le vivant, la matière et l'esprit, la vérité). La politique (la société et l'État, la justice et le droit). La morale (la liberté, le devoir, le bonheur). Géographie : dynamiques géographiques de grandes aires continentales.

## Voie technologique

### Enseignement moral et civique

- 1<sup>re</sup> : exercer sa citoyenneté dans la République française et l'Union européenne (s'engager). Les enjeux moraux et civiques de la société de l'information (questions éthiques majeures posées par l'usage individuel et collectif du numérique. Spécificité et rôle des différents médias et éléments de méthode permettant la compréhension critique des informations dont ils sont porteurs et des réactions qu'ils suscitent).
- Terminale : pluralisme des croyances et laïcité. Biologie, éthique, société et environnement.

## Philosophie

- Terminale (sauf série TMD) : la vérité (la raison et la croyance, l'expérience).
- Terminale (série TMD) : la culture (le travail et la technique, la religion). La raison et le réel (la démonstration, le vivant, la matière et l'esprit, la vérité). La politique (la société et l'État, la justice et le droit). La morale (la liberté, le devoir, le bonheur).
  
- ✓ **Enseignement commun aux séries STI2D, STL et STD2A**
- 1<sup>re</sup>. Histoire-géographie : Histoire du quotidien (vivre et mourir en Europe du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle aux années 1960. La pénicilline : du laboratoire à la société, naissance d'un médicament).
  
- ✓ **Commun aux séries STI2D et STL**
- 1<sup>re</sup>. Mathématiques : statistiques et probabilités (statistique descriptive, analyse de données. Probabilités. Echantillonnage). Physique-chimie : santé (prévention et soin).
- Terminale. Physique-chimie : santé (quelques outils du diagnostic médical).
  
- ✓ **Série STI2D**
- Terminale. Mathématiques : probabilités et statistique (exemples de lois à densité. Prise de décision et estimation).
  
- ✓ **Série STL**
- 1<sup>re</sup>. Chimie-biochimie-sciences du vivant : les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière (Les organismes vivants présentent une unité et une diversité. Les organismes vivants peuvent être explorés par des techniques adaptées à chaque échelle. Les organismes vivants présentent différents niveaux d'organisation. La cellule fonde l'unité des organismes vivants). Mesure et instrumentation : mesure et incertitudes de mesure. Instrumentation : instruments de mesure, chaîne de mesure numérique. Les techniques de mesure. Biotechnologies : Biotechnologies : historique, enjeux et environnement de travail (origine et évolution des biotechnologies. Méthodes spécifiques aux cultures biologiques). Microscopie et structures cellulaires (Observations microscopiques. Diversité des structures cellulaires). Nutrition, culture et dénombrement de cellules (nutrition et culture de micro-organismes. Dénombrer des cellules). Caractérisation, identification et classification des micro-organismes (Caractères morphologiques des micro-organismes, utiles pour l'identification. Métabolismes cellulaires et caractères métaboliques ou biochimiques. Identification et classification). Démarches spécifiques aux activités de biotechnologie moléculaire. Séparation, identification et dosage de biomolécules. Thématiques de projet (prophylaxie et traitement. Produits laitiers. Boissons fermentées. Production de médicaments. Bio-insecticides. Agro-carburants. Hygiène des locaux et du personnel). Sciences physiques et chimiques en laboratoire : chimie : enjeux sociétaux, économiques et environnementaux. Synthèses chimiques. Analyses physico-chimiques et environnement.

- Terminale. Mathématiques : probabilités et statistique (exemples de lois à densité. Prise de décision et estimation). Physique-chimie (spécialité biotechnologies) : imagerie médicale, exploration fonctionnelle et radiothérapie. Chimie-biochimie-sciences du vivant : Les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière (les virus sont des systèmes biologiques non cellulaires). Les systèmes vivants échangent de la matière et de l'énergie (les voies métaboliques des systèmes vivants sont exploitées dans les bio-industries). Les systèmes vivants maintiennent leur intégrité et leur identité en échangeant de l'information (le maintien de l'intégrité de l'organisme par les mécanismes immuns nécessite la reconnaissance du soi et une coopération entre cellules immunocompétentes). Les systèmes vivants contiennent, échangent et utilisent de l'information génétique (l'ADN est un objet des biotechnologies). Des systèmes vivants existent à grande échelle : écosystèmes et biosphère (les organismes vivants sont divers mais apparentés. Le sol et l'agrosystème sont deux écosystèmes de surface. La biosphère est une interface entre différentes enveloppes terrestres. Les organismes vivants sont utilisés par l'Homme comme agents de dépollution et de production). Biotechnologies : biotechnologies : éthique, impact économique et démarche technologique. Analyse microbiologique d'un produit polymicrobien (la démarche de l'analyse microbiologique : recherche et/ou dénombrement. Les étapes de la recherche d'une flore particulière dans un produit polymicrobien. Les méthodes de dénombrement d'une flore d'un produit polymicrobien). Croissance microbienne (modélisation de la croissance en milieu non renouvelé. Les agents antimicrobiens inhibiteurs de la croissance. Les bactériophages, virus lytiques ou lysogènes des bactéries). Micro-organismes eucaryotes (culture de cellules eucaryotes. Les champignons microscopiques). Préparation et analyse biochimique des produits biologiques (méthodes de fractionnement. Méthodes de détection et d'identification. Méthodes de dosage. Analyse immunologique des échantillons biologiques). Les enzymes, catalyseurs biologiques et outil de transformation spécifique des molécules (les enzymes, protéines catalytiques à site actif. Étude cinétique des enzymes michaeliennes. Les enzymes, protéines sensibles aux effecteurs. Enzymologie appliquée). Initiation à la biologie moléculaire et au génie génétique (sensibilisation à l'environnement de travail et aux exigences spécifiques à la pratique de la biologie moléculaire. Du gène à la protéine. Outils essentiels de la biologie moléculaire. Quelques applications de la biologie moléculaire et du génie génétique). Sciences physiques et chimiques en laboratoire : ondes (observer : voir plus grand. Mesurer. Utiliser l'énergie transportée par les ondes). Chimie et développement durable (synthèses chimiques. Analyses physico-chimiques).
- ✓ Série STD2A
  - 1<sup>re</sup>. Mathématiques : géométrie dans l'espace (perspective parallèle. Solides). Physique-chimie : du monde de la matière au monde des objets (matériaux organiques). Voir des objets colorés, analyser et réaliser des images (sources de lumière artificielles. Lumière et couleurs des objets. Couleurs et peintures. La vision. Images photographiques. Images de l'invisible).

- Terminale : Mathématiques : géométrie dans l'espace (solides de révolution, sections planes d'un demi-cône de révolution, perspective centrale). Physique-chimie : du monde de la matière au monde des objets (matériaux organiques). Voir des objets colorés, analyser et réaliser des images (sources de lumière artificielles. Lumière et couleurs des objets. Couleurs et peintures. La vision. Images photographiques. Images de l'invisible).
- ✓ Série STMG
  - 1<sup>re</sup>. Sciences de gestion : de l'individu à l'acteur. Information et intelligence collective. Gestion et création de valeur. Évaluation et performance. Temps et risque. Management des organisations : le rôle du management dans la gestion des organisations. Les critères de différenciation des organisations. Le management stratégique : le choix des objectifs et le contrôle stratégique. Le management stratégique : l'organisation de la production. Le management stratégique : les choix en matière d'animation et de mobilisation des hommes. Le processus et le diagnostic stratégiques. La stratégie des organisations. Histoire : La France en République 1880-1945. Diffusion et mutations du modèle industriel. Mathématiques : statistique et probabilités (statistique, probabilités, loi binomiale, échantillonnage et prise de décision).
  - Terminale. Économie – droit : comment entreprendre ? (l'entreprise individuelle, la société, le partenariat). Géographie : la France dans le monde (les engagements militaires et humanitaires de la France et des Français dans le monde). Mathématiques : statistique et probabilités (statistique descriptive à deux variables, conditionnement, loi normale, échantillonnage et prise de décision, estimation). Sciences de gestion (spécialité gestion et finance) : construire une image de l'entreprise. Analyser la situation de l'entreprise. Accompagner la prise de décision. Sciences de gestion (spécialité mercatique) : mercatique et consommateurs. Mercatique et marchés. Mercatique et société. Sciences de gestion (spécialité ressources humaines et communication) : mobilisation / motivation. Compétences / potentiel. Cohésion / conflits. Coordination / coopération.
- ✓ Série ST2S
  - 1<sup>re</sup>. Biologie et physiopathologie humaines : organisation et fonctionnement intégré de l'être humain. Système nerveux et motricité. Sciences et techniques sanitaires et sociales : pôle état de santé et de bien-être social (comment apprécier l'état de santé et de bien-être social ? comment émergent les problèmes de santé et les problèmes sociaux ?). Pôle méthodologie (comment les études contribuent-elles à la connaissance de l'état de santé et de bien-être des populations ?) Histoire : La France en République 1880-1945. Science, innovation technique, société (1850-1950). Géographie : la France : dynamique de localisation des activités et des populations (soigner en France : disparités et maillage. Un territoire de l'innovation). Sciences physiques et chimiques : pôle chimie et santé (Les molécules organiques dans le domaine de la santé. Introduction aux acides et aux bases. Antiseptiques et désinfectants). Mathématiques : Information chiffrée et suites numériques. Statistique et probabilités.

- Terminale. Mathématiques : statistique et probabilités (statistique, probabilités conditionnelles). Biologie et physiopathologie humaines : pôle fonctions de nutrition (anatomie et histologie de l'appareil respiratoire. Physiologie de l'appareil respiratoire. Pathologies respiratoires). Pôle défense de l'organisme (immunologie). Géographie : la France dans le monde (les engagements militaires et humanitaires de la France et des Français dans le monde). Sciences et techniques sanitaires et sociales : pôle politiques et dispositifs de santé publique et d'action sociale (quels politiques et dispositifs de santé publique pour répondre aux besoins de santé ?) Pôle méthodologie (comment les organisations sanitaires et sociales mettent en place un plan d'action pour améliorer la santé ou le bien-être social des populations ?) Sciences physiques et chimiques : pôle chimie et santé (des molécules pour la santé. Solutions aqueuses d'antiseptiques).
- ✓ Série Hôtellerie
  - 1<sup>re</sup>. Histoire-géographie touristique.
  - Terminale. Histoire-géographie touristique. Sciences appliquées. Technologie et méthodes culinaires.
- ✓ Série TMD
  - 1<sup>re</sup>. Initiation au monde contemporain. Mathématiques. Sciences physiques.
  - Terminale. Initiation au monde contemporain. Sciences physiques.

## Voie professionnelle

### Classes préparatoires au CAP

#### Histoire-géographie

- Être ouvrier en France du XIX<sup>e</sup> au XXI<sup>e</sup> siècle.
- Le développement inégal. Les sociétés face aux risques.

#### Enseignement moral et civique

- Exercer sa citoyenneté dans la République française et l'Union européenne (l'engagement. Questions éthiques majeures posées par l'usage individuel et collectif du numérique).
- Pluralisme des croyances et laïcité.

#### Prévention Santé Environnement

- Sécurité sanitaire du consommateur : principe de précaution, contrôles et veille sanitaire.
- Surveiller la santé du salarié (vaccinations).

## Classes préparatoires au baccalauréat professionnel

### Histoire-géographie

- 2<sup>de</sup>. Le développement inégal. Les sociétés face aux risques.
- 1<sup>re</sup>. Être ouvrier en France (1830-1975).

### Enseignement moral et civique

- 1<sup>re</sup>. Exercer sa citoyenneté dans la République française et l'Union européenne (s'engager). Les enjeux moraux et civiques de la société de l'information (questions éthiques majeures posées par l'usage individuel et collectif du numérique. Spécificité et rôle des différents médias et éléments de méthode permettant la compréhension critique des informations dont ils sont porteurs et des réactions qu'ils suscitent).
- Terminale. Pluralisme des croyances et laïcité. Biologie, éthique, société et environnement.

### Mathématiques et sciences physiques et chimiques

- 2<sup>de</sup>. Statistique et probabilités (statistique à une variable. Fluctuations d'une fréquence selon les échantillons, probabilités).
- 1<sup>re</sup>. Statistique et probabilités (statistique à une variable. Fluctuations d'une fréquence selon les échantillons, probabilités).
- Terminale. Statistique et probabilités (statistique à deux variables. Probabilités). Géométrie dans le plan et dans l'espace : consolidation.

### Prévention Santé Environnement

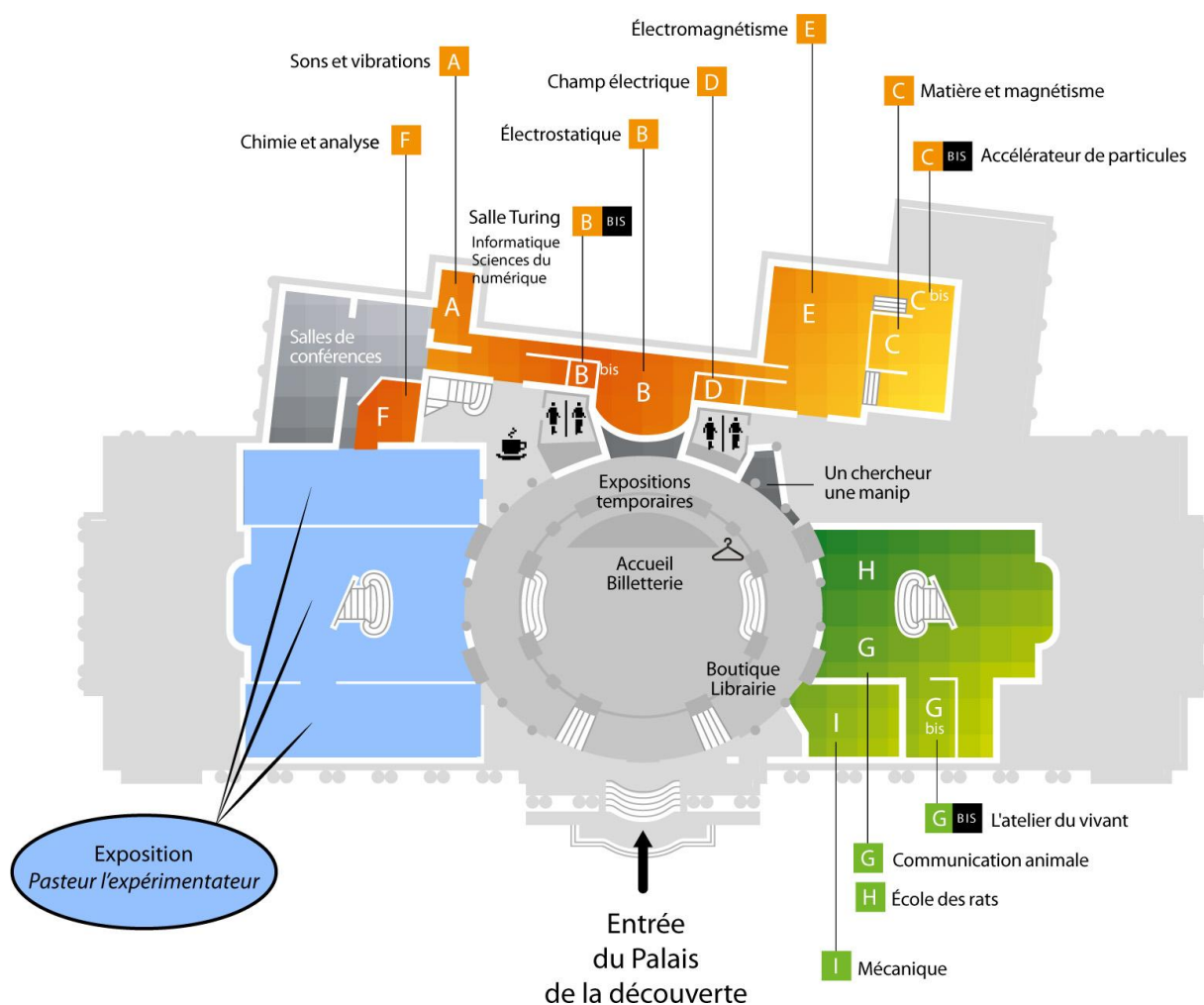
- 2<sup>de</sup>. Santé et équilibre de vie (appréhender le concept et le système de santé). Alimentation et santé (appréhender la qualité sanitaire des aliments).
- Terminale. Cadre réglementaire de la prévention dans l'entreprise (les organismes de prévention).



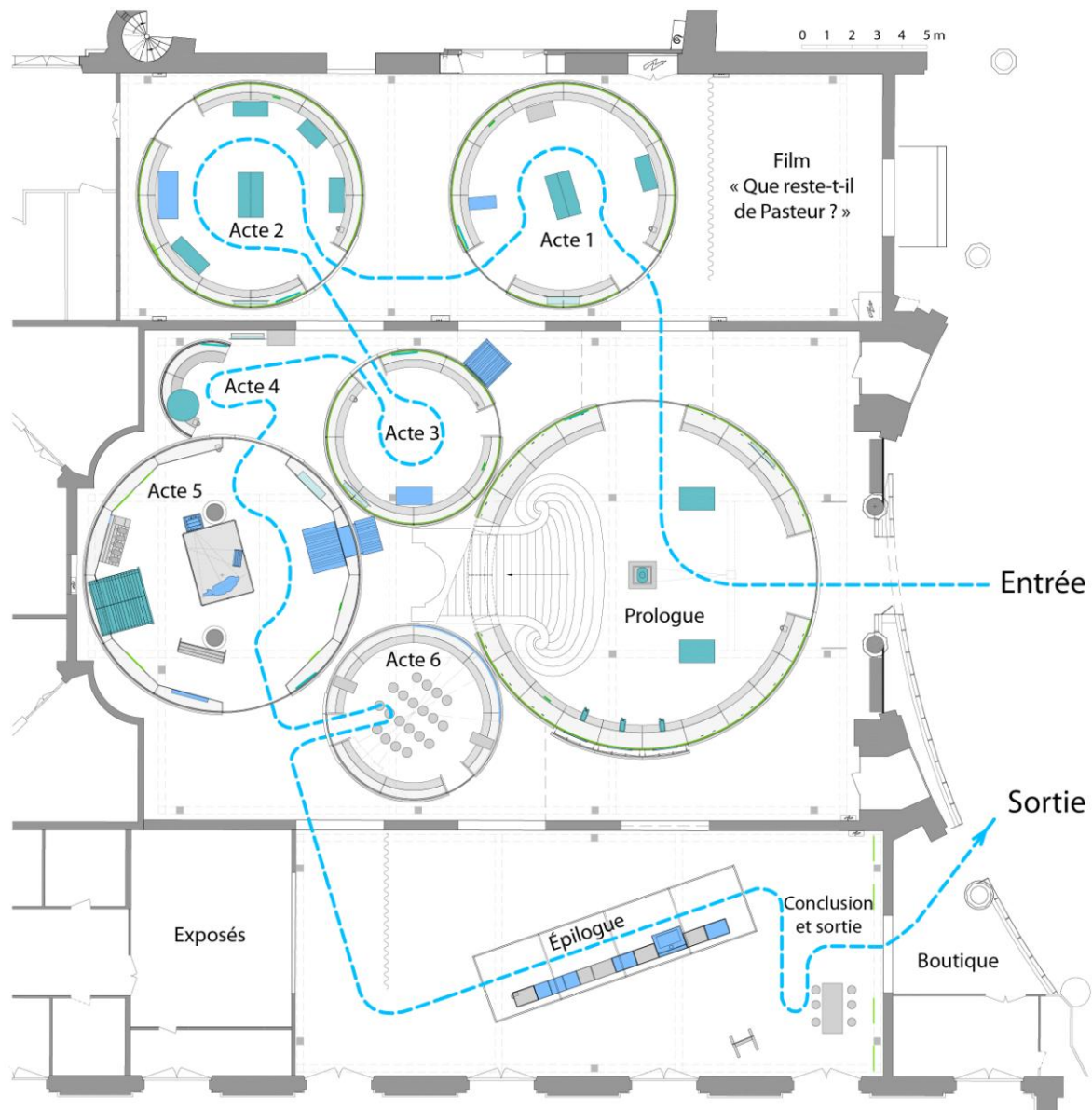
## II L'exposition *Pasteur l'expérimentateur*

### II.1 Situation et plan

L'exposition *Pasteur l'expérimentateur*, qui occupe une surface totale de 1 000 m<sup>2</sup>, prend place au niveau 0 du Palais de la découverte.



Le graphique ci-dessous révèle l'organisation schématique de l'exposition *Pasteur l'expérimentateur* ainsi que son sens de parcours. Dans la suite du document, nous présenterons un aperçu des éléments d'exposition dans l'ordre proposé. Accessible au public handicapé (PMR, malvoyants et malentendants), elle est présentée en trois langues : français, anglais et espagnol. Envisagée dès sa conception comme une exposition itinérante, elle prendra la route en France et à l'étranger à partir d'octobre 2018.



Prologue : contexte et origine

Acte 1 : cristaux et dissymétrie (1847 - 1857)

Acte 2 : fermentations (1857 - 1876)

Acte 3 : générations spontanées (1859 - 1864)

Acte 4 : maladies des vers à soie (1865 - 1869)

Acte 5 : maladies et vaccins (1876 - 1895)

Acte 6 : les héritiers (1895 - 1930)

Épilogue : nouvelles visions des micro-organismes



En écho aux mises en scènes orchestrées par Pasteur pour diffuser ses travaux, la scénographie reprend certains éléments du vocabulaire du théâtre : rideaux en velours, gradins, éditoriaux de sections présentés à la manière de grands actes. Chaque thématique de recherche de Pasteur est ainsi présentée dans une rotonde cernée par des rideaux et par une margelle ou un gradin. Le style de la partie contemporaine tranche avec le reste. Les cinq alcôves de la partie contemporaine sont lumineuses et translucides dans un style sobre et futuriste.

L'exposition *Pasteur l'expérimentateur* a été réalisée en collaboration avec l'Institut Pasteur.



## II.2 Contexte et partis pris

Pourquoi une exposition sur Louis Pasteur en 2017 ?

L'objectif est d'opérer un retour aux sources et de faire découvrir, au-delà du mythe et à la lumière des débats historiographiques récents, le parcours de Louis Pasteur, ses nombreux domaines de recherche, ses découvertes et ses réalisations.

Il s'agit de renouveler la vision que l'on a de Pasteur qui, de son vivant, a fait figure d'emblème en tant que scientifique et a contribué au roman national, en replaçant sur le devant de la scène les autres contributeurs et en mettant en lumière les apports très pratiques et appliqués de ces travaux.

Ce nouvel éclairage n'empêchera pas d'affirmer la contribution essentielle de Pasteur à l'avancement des connaissances.

### Le contexte

L'exposition s'inscrit dans un cycle d'expositions d'histoire culturelle des sciences, faisant suite à *Léonard, projets, dessins, machines*, et *Darwin l'original*. Elle replace l'œuvre de Pasteur dans le contexte scientifique et culturel du XIX<sup>e</sup> siècle en rendant compte d'interprétations historiques récentes et en évitant les anachronismes. Il s'agit d'une exposition de centre de science, pas de musée. Ici, on ne présente pas d'objets patrimoniaux ou de documents originaux (sinon des facsimilés), mais on s'attache aux idées qu'on traduit sous forme de dispositifs majoritairement interactifs.

## Les grandes orientations

Trois idées ressortent de l'exposition :

- la contribution de Pasteur ne se limite pas à la vaccination contre la rage et à la pasteurisation. Il a été également particulièrement prolifique en chimie ainsi que dans le domaine agroalimentaire et s'est mis au service de l'industrie française ;
- Pasteur était finalement autant un entrepreneur qu'un scientifique. Il allait au-delà des découvertes et organisait l'application pratique de ce qu'il préconisait jusque dans les moyens de diffusion et de communication ;
- Pasteur n'était pas tout seul. Il bénéficiait des résultats de nombreux travaux antérieurs, il était stimulé par des contradicteurs scientifiques et travaillait avec des collaborateurs dont les apports ont été quelque peu occultés par la renommée de leur maître.

## Les partis pris muséographiques

### Des dispositifs s'inspirant du XIX<sup>e</sup> siècle

Dans les sections historiques, la muséographie rappelle les dispositifs existants à l'époque de Pasteur. Cela consiste à imaginer des mécanismes et installations qui ressemblent, ou du moins font référence, à ceux qu'aurait pu concevoir un artisan de l'époque : théâtre d'ombres, stand forain mécanique, automate, panorama...

### L'importance des instruments

Le rôle des instruments est très important. Aussi, quelques objets et des gravures d'époque représentant ces instruments sont exposés.

### Des multimédias « sans écran »

Les écrans des multimédias n'apparaissent pas comme des moniteurs vidéo. Au moyen de masques ou par des jeux de transparence, les images issues de ces écrans sont visibles mais sans révéler l'objet dont elles émanent. Parfois, un registre fictionnel fantomatique est utilisé en référence aux expériences de spiritisme en vogue au XIX<sup>e</sup> siècle.

### Repeupler l'histoire

Il convient de faire passer l'idée que Pasteur n'était pas seul et que l'histoire de ses découvertes est, en fait, peuplée de nombreux protagonistes. Pour ce faire, la muséographie fait figurer des iconographies des personnages à l'échelle des visiteurs. Les instruments sont également des acteurs à part entière de cette épopée.

## II.3 Contenu

Le parcours de l'exposition se décompose en huit sections, découpées selon le vocabulaire du théâtre en six actes avec un prologue et un épilogue.

### PROLOGUE : CONTEXTE ET ORIGINE

→ Cette première section introductive s'attachera à immerger les visiteurs dans le siècle de Pasteur, son histoire culturelle et scientifique, et donnera des informations biographiques sur Louis Pasteur.

D'origine modeste, Pasteur est né dans le Jura, à Dole en 1822. Son père, ancien sergent des armées de Napoléon, a repris l'activité familiale de tanneur. La famille s'installe en 1830 à Arbois. Pasteur fait ses études à Arbois puis à Besançon. Après l'obtention de ses baccalauréats, il intègre l'École normale supérieure en 1843. Il y soutient deux thèses, une de physique et une de chimie. Après des postes de professeur à Dijon puis Strasbourg, il épouse Marie Laurent, fille du recteur de l'université de Strasbourg en 1849. Il est nommé professeur de chimie et doyen de la faculté des sciences de Lille. Il retrouve l'École normale supérieure en 1857 au poste d'administrateur et de directeur des études scientifiques, et y fera toute sa carrière jusqu'à la création de l'Institut Pasteur. La découverte du vaccin contre la rage en 1885 lui vaudra une renommée mondiale et débouchera sur la création en 1888 de l'institut qui porte son nom. Pasteur décède à Marnes-la-Coquette, domaine de Villeneuve l'Étang (annexe de l'Institut Pasteur) le 28 septembre 1895. Il aura droit à des obsèques nationales. La vie de Pasteur est traversée de drames personnels : il perd trois de ses cinq enfants et est victime de plusieurs accidents vasculaires cérébraux qui le handicapent à la fin de sa vie.

Quelques éléments d'exposition du prologue :

- **un décor peint présente le XIX<sup>e</sup> siècle** à la manière d'un panorama ;
- **une chronologie explore les dates-clés de l'époque de Pasteur.** Et quelle époque ! Au XIX<sup>e</sup> siècle, l'enchaînement des découvertes transforme le quotidien des individus, qui assistent à la naissance du chemin de fer, du métro, du télégraphe, de la photographie, de la bicyclette, des moteurs et qui s'éclairent maintenant à l'électricité. Les sciences s'enrichissent de théories fondatrices sur l'électromagnétisme, l'hérédité et l'évolution du vivant. Géologie, statistique, médecine, astronomie et chimie ne sont pas en reste. Et l'astronome et diffuseur des connaissances scientifiques Camille Flammarion de s'émerveiller : « Les étoiles ont révélé leur constitution chimique aux investigations hardies et infatigables du spectroscope [...] ; la Lune laisse photographier ses paysages et descend à quelques lieues de notre vision stupéfaite ! » ;
- **un mapping audiovisuel sur buste** brosse les traits saillants de la personnalité de Pasteur ;
- **un encadré sur Pasteur et les arts**, où l'on découvre qu'adolescent, il pratiquait le dessin au pastel et la lithographie.

## ACTE 1 : CRISTAUX ET DISSYMMÉTRIE (1847 – 1857)

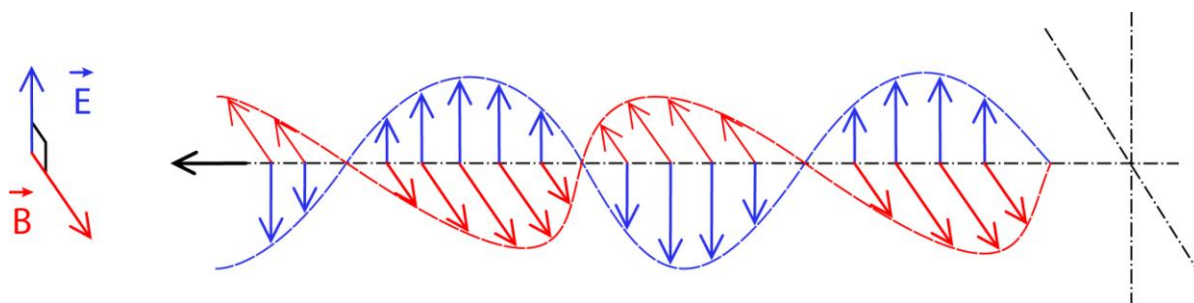
→ Les travaux scientifiques de Pasteur sur l'acide tartrique sont les premiers qui ont contribué à sa renommée. Contrairement à la suite de ses recherches, ce sujet est fondamental. En 1846, Pasteur, jeune chercheur à l'École Normale de la rue d'Ulm, a 24 ans. Il se destine à devenir chimiste et se passionne pour un mystère qui dérouta les scientifiques depuis une vingtaine d'années : l'énigme de l'acide paratartrique.

Tout commence en 1819 quand un industriel alsacien, Philippe-Charles Kestner, en produisant du tartrate destiné aux teinturiers, constate qu'il obtient une substance qui n'a pas tout à fait les mêmes propriétés que l'acide tartrique classique bien qu'il soit composé des mêmes éléments chimiques dans les mêmes quantités. On lui trouve rapidement un nom : l'acide paratartrique.

Pour la plupart des chimistes de l'époque, l'association des mêmes composants dans les mêmes proportions doit produire la même substance. Or, ici, rien de tel. Les mêmes éléments chimiques, en proportions identiques, ont produit deux acides dissemblables. Quelle est cette différence ? C'est une expérience, menée sur un appareil appelé polarimètre, qui a posé les bases de cette énigme. Quand Pasteur s'en empare, elle a déjà mobilisé des scientifiques un peu partout en Europe.

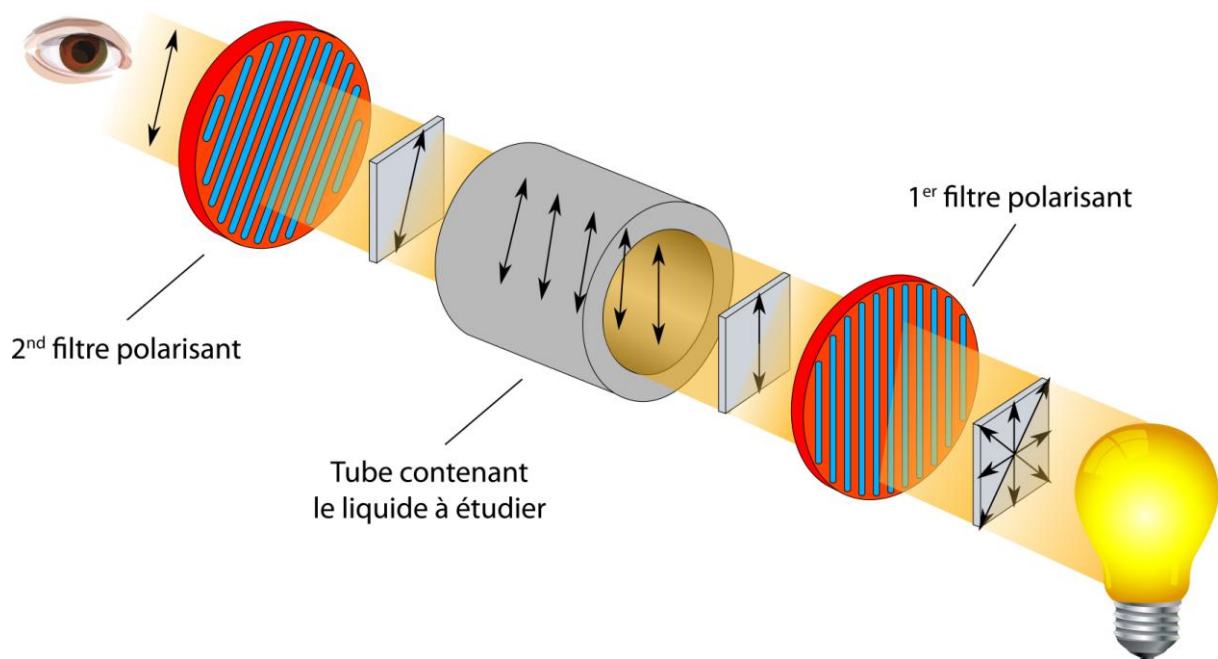
On peut modéliser les ondes électromagnétiques – la lumière – sous la forme d'une oscillation couplée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui lui est orthogonal. Les deux champs sont eux-mêmes orthogonaux à la direction de propagation de l'onde. Les ampoules, les diodes électroluminescentes ou les étoiles émettent des ondes dont le champ électrique oscille dans toutes les directions possibles de manière aléatoire et imprévisible : leur lumière n'est pas polarisée.

Lorsque le champ électrique d'une onde électromagnétique possède une trajectoire définie, on dit que l'onde est polarisée. Si l'extrémité du vecteur champ électrique décrit un segment de droite (ce champ reste donc toujours dans un même plan), on parle de polarisation linéaire. Si c'est un cercle qui est décrit, il s'agit d'une polarisation circulaire. Elle est dite elliptique dans le cas d'une ellipse.



Exemple d'une onde électromagnétique polarisée linéairement et se propageant de la droite vers la gauche.

Pasteur utilise un polarimètre alimenté par un faisceau de lumière non polarisée. Le principe du polarimètre est le suivant : à son entrée dans l'appareil, la lumière passe par un premier filtre polarisant. Seule la fraction du faisceau oscillant dans le plan défini par le filtre est susceptible de le traverser. Cette fraction passe ensuite dans un tube contenant le liquide que l'on souhaite étudier. Au bout de ce tube se trouve un autre filtre polarisant, qui permet, en tournant, de laisser passer ou d'obstruer la lumière et de voir si la direction de son plan de vibration a changé.



Exemple d'une onde électromagnétique polarisée linéairement et se propageant de la droite vers la gauche.  
D'après un schéma réalisé par Kaidor / CC BY-SA 3.0.

Habituellement, l'acide tartrique a un effet sur la polarisation : il fait tourner le plan de vibration de la lumière. On appelle cela le pouvoir rotatoire. Or, contrairement à l'acide tartrique, l'acide paratartrique n'a aucune action sur les rayons lumineux, alors qu'il est composé des mêmes éléments chimiques. Pasteur mettra de longs mois à essayer de comprendre ce qui se passe dans le tube.

Il poursuit l'expérience du polarimètre en laissant l'eau s'évaporer et en obtenant des cristaux de paratartrate qu'il étudie à la loupe et dont il mesure l'orientation des faces. Pasteur découvre qu'il a affaire à deux sortes de cristaux, distinguables grâce à leurs petites facettes dissymétriques. Chez les uns, les petites facettes penchant à droite, chez les autres, à gauche. Ils séparent alors les deux groupes de cristaux, les dissout à nouveau, et les passe séparément au polarimètre. L'un fait tourner le plan de polarisation vers la droite et l'autre vers la gauche. Et Pasteur comprend...

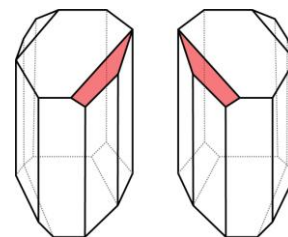
L'acide paratartrique est en réalité un mélange de deux substances dont les effets se compensent. L'une est l'acide tartrique, bien connu, et l'autre, son jumeau, son symétrique exact. Pasteur construit toute une série de maquettes pour expliquer sa découverte. Il va plus loin encore : il émet l'hypothèse qu'à une échelle microscopique, les molécules elles-mêmes sont bien composées des mêmes atomes mais qu'elles sont agencées dans l'espace de manière inversée. En somme, comme en miroir l'une de l'autre, comme le sont nos mains gauche et droite, qui se ressemblent sans être identiques ! Cette conception des molécules comme des êtres géométriques, à trois dimensions, et non plus comme une simple liste de constituants, est totalement novatrice pour l'époque.

En 1848, Pasteur publie ses travaux. Il vient de résoudre l'une des grandes énigmes scientifiques de son époque et de mettre en évidence un phénomène qui aura une importance immense dans l'étude du vivant.

Il ne sera compris à l'échelle moléculaire qu'à partir de 1874 grâce à Friedrich Kékulé von Stradonitz (1829 – 1896), à son élève Jacobus Henricus van 't Hoff (1852 – 1911) et à Joseph Achille Le Bel (1847 – 1930). Il débouchera finalement sur le concept de chiralité forgé par William Thomson (mieux connu sous le nom de Lord Kelvin, 1824 – 1907), essentiel dans les interactions du vivant. Le mot *chiralité* vient du grec *χείρ* (*cheir*, qui signifie *main*) et fut proposé par Kelvin en mai 1893 à l'occasion d'une conférence présentée devant le Oxford University Junior Scientific Club « *I call any geometrical figure, or group of points, chiral, and say it has chirality, if its image in a plane mirror, ideally realized, cannot be brought to coincide with itself.* »

Quelques éléments d'exposition de ce premier acte :

- **un polarimètre.** L'objectif de cet élément est de montrer concrètement en quoi consiste le pouvoir rotatoire et avec quel outil il s'apprécie ;
- **un jeu de tri avec des cristaux géants.** Son objectif est d'attirer l'attention des élèves sur la différence subtile entre les cristaux à facettes droites et gauches ;
- **un encadré sur l'inerte et le vivant,** qui montre le désir qu'a Pasteur de percer les mystères de la vie ;
- **un panneau sur la cristallisation...** car l'élaboration des cristaux est tout un art ! Dans le cas de l'acide paratartrique, Pasteur part d'une poudre blanche. Il la verse dans l'eau, ajoute des sels. À ce stade, tout est dissous et l'eau est limpide. Pendant plusieurs jours, la préparation repose. L'eau s'évapore lentement jusqu'à laisser au fond du récipient des cristaux, dont certains atteignent un centimètre de long. La forme de ces cristaux, leurs facettes, va permettre à Pasteur de lever le voile sur le mystère de l'acide paratartrique.



→ Pasteur se penche sur la fermentation à l'occasion d'un problème dans la fabrication d'alcool de betterave. Il reviendra sur ce sujet à de nombreuses reprises jusqu'en 1876. Ses travaux le conduisent à confirmer le lien entre pathologies et micro-organismes.

À la faculté des sciences de Lille, Pasteur est sollicité par son élève Émile Bigo. Dans l'usine de son père, la production d'alcool de betterave par fermentation rencontre de grosses difficultés. Alcool, pain et choucroute sont des produits courants obtenus par fermentation, mais ce processus reste mystérieux aux yeux des scientifiques. La plupart d'entre eux, dont Justus von Liebig (1803 – 1873), pensent qu'il s'agit d'une décomposition du sucre. La conviction de Pasteur est tout autre : selon lui, la fermentation résulte de l'action de micro-organismes.

Ses recherches le conduisent à identifier les bons ferments mais aussi les mauvais, responsables des problèmes de fabrication du vinaigre, de la bière et de la dégradation des vins. Il peut se flatter d'avoir été sollicité par Napoléon III à ce sujet. Il dépose un brevet sur le chauffage du vin, qu'il défend ardemment et qui est rapidement baptisé « pasteurisation ».

Quelques éléments d'exposition de ce deuxième acte :

- **« la fermentation, un processus vivant »**, dont l'objectif est de rappeler que les acteurs de la fermentation sont des organismes vivants ; les élèves peuvent ici observer un tonnelet hébergeant du vin subissant une fermentation acétique : l'éthanol est dégradé en acide éthanoïque (ou *acétique*) en présence d'oxygène sous l'action d'une bactérie. En effet, dans les processus de fermentation, les micro-organismes ne sont ni des spectateurs ni des ingrédients passifs, comme on le croyait auparavant, ce sont les acteurs. Pasteur identifie l'organisme qui transforme l'alcool en vinaigre : *Mycoderma aceti*. Il est présent à la surface du liquide sous la forme d'une fine pellicule appelée « fleur de vinaigre ». En revanche, la masse gélatineuse, parfois appelée « mère de vinaigre », qui se dépose au fond du tonneau ne participe pas à cette fermentation. Pasteur découvre que *Mycoderma aceti* peut aussi dégrader le vinaigre qu'il a lui-même formé si l'alcool vient à manquer ;
- **Un jeu d'association** dont l'objectif est de montrer qu'à chaque fermentation correspond un micro-organisme qui lui est spécifique. Cette découverte a une portée théorique et pratique fondamentale. Des années plus tard, elle guidera Pasteur lorsqu'il débutera ses travaux sur un autre phénomène biologique : les maladies infectieuses ;
- **une « chambre claire »** pour que les visiteurs puissent eux-mêmes dessiner des micro-organismes observés au microscope, comme à l'époque de Pasteur ;

- « **la vie sans oxygène** », un **dispositif** se présentant sous la forme d'une calotte sphérique qui figure une goutte d'eau géante sous laquelle un écran reproduit le mouvement des « vibrions butyriques » observés par Pasteur. Ceux-ci s'agitent plus vivement dans la goutte que sur ses bords. Pasteur a émis – avec raison ! – l'hypothèse que le responsable de ce phénomène est l'oxygène de l'air. En effet, l'oxygène est bien présent autour de la goutte mais absent à l'intérieur. On pense pourtant à cette époque que l'oxygène est indispensable aux organismes vivants. Pasteur est en train de découvrir qu'il peut au contraire être toxique pour certains ;
- Un élément montrant comment Pasteur a aidé les viticulteurs, à la demande de Napoléon III, en identifiant les causes de quatre maladies qui affectent le vin et plus précisément en découvrant les micro-organismes responsables desdites maladies :
  - o l'acescence. Dans les vins qui tournent à l'acide, on observe un germe étranger, *Mycoderma aceti*, responsable de la transformation de l'alcool en vinaigre ;
  - o la maladie des vins tournés. Le vin est plus ou moins trouble, il semble additionné d'eau. Cette altération est due à la présence de ferments lactiques filiformes ;
  - o la maladie de l'amertume. Au début de la maladie, les vins présentent une odeur désagréable, puis ils perdent leur couleur et deviennent amers jusqu'à devenir imbuables ;
  - o la maladie de la graisse. Des ferments parasites, petits globules sphériques en chapelets, rendent les vins fades, plats, légèrement troubles et filants comme de l'huile.

Au passage, Pasteur découvre au microscope les levures alcooliques qui ont fait fermenter le sucre du raisin ;

- « **la pasteurisation du vin** », un **jeu** qui se joue à plusieurs autour d'une table : un meneur de jeu et de un à trois joueurs. Le but est de faire deviner aux partenaires de jeu la bonne réponse à des questions. Ainsi, les élèves découvrent une conséquence pratique et directe des connaissances acquises par Pasteur sur les micro-organismes : le brevet de 1865 sur la conservation des vins ;
- **Une composition graphique sur la fabrication de la bière.** Les travaux de Pasteur ont permis de montrer que les maladies de la bière étaient dues à une contamination par des micro-organismes. Les étapes délicates sont le refroidissement du moût et la fermentation. Durant ces phases, la température du liquide est basse et favorable à la croissance de ferments étrangers qui proviennent de l'air, des ustensiles ou de la levure alcoolique. Pasteur met au point des appareils permettant que le refroidissement et la fermentation ne se fassent qu'au contact d'un air purifié. Il invente également un procédé pour purifier la levure. Mais surtout, il confirme ce que certains brasseurs savaient déjà intuitivement : pour obtenir une bière inaltérable, il faut travailler le plus proprement possible.





### ACTE 3 : GÉNÉRATIONS SPONTANÉES (1859 – 1864)

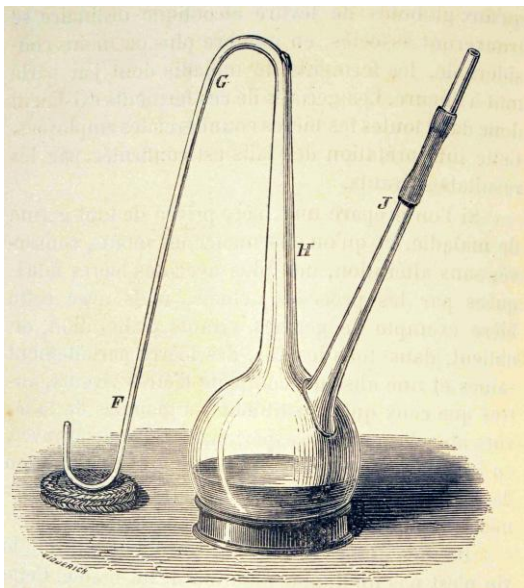
→ Cette section rend compte du débat qui opposa Pasteur à Felix Pouchet au sujet des générations spontanées. Le vivant peut-il surgir de l'inanimé ou bien est-il toujours issu d'un organisme semblable à lui-même ? Les conséquences d'une réfutation de la génération spontanée sont nombreuses, puisqu'elles touchent aussi bien à la conservation des aliments qu'à l'hygiène et à la compréhension des maladies infectieuses. Pasteur y fait preuve d'un génie expérimental certain.

Félix Pouchet (1800 – 1872) vient de publier un traité sur les générations spontanées. Il renouvelle l'idée ancienne que des matières inertes peuvent produire de petits organismes vivants. De nombreux scientifiques sont sceptiques, Pasteur en tête. Ses travaux sur les fermentations l'ont persuadé que les germes n'apparaissent pas en l'absence de parents et proviennent souvent d'une contamination extérieure. L'Académie des sciences propose un prix à qui tranchera la question à l'aide d'expériences sérieuses...

L'Académie finit par donner raison à Pasteur contre Pouchet et met un terme officiel au débat sur les générations spontanées. Les curieux résultats de Pouchet, qui voit la vie apparaître dans ses infusions, ne seront expliqués que plus tard : ses préparations contiennent des spores, formes vivantes extrêmement résistantes au chauffage.

Un élément d'exposition de ce troisième acte :

- **un théâtre optique** montrant Pasteur et Pouchet s'affrontant au sujet des générations spontanées.



« Ballon à col sinueux employé par M. Pasteur dans ses expériences contre la génération spontanée ». Illustration provenant de « Les merveilles de l'industrie ou *Description des principales industries modernes* » en quatre volumes par Louis Figuier (1819 – 1894).

→ Il s'agit de la première pathologie animale étudiée par Pasteur. Sur demande de son maître et ami Jean-Baptiste Dumas, sénateur du Gard, il vient au secours des sériciculteurs dont la production est mise en péril par deux maladies. Pasteur met au point et diffuse des méthodes pratiques pour obtenir des élevages sains.

La sériciculture désigne l'élevage du ver à soie, qui est lui-même la chenille d'un papillon, le bombyx du mûrier. Elle consiste en l'ensemble des opérations de culture du mûrier, d'élevage du ver à soie pour l'obtention du cocon, de dévidage du cocon et de filature de la soie. Vers 1860, la sériciculture française est en proie à une grave crise : des maladies déciment les élevages de vers à soie. Le sénateur du Gard et ancien titulaire de la chaire de chimie organique à la Faculté de médecine, Jean-Baptiste Dumas, appelle à la rescousse Louis Pasteur (qui fut son élève) pour étudier l'épidémie. C'est la première fois que Pasteur a pour sujet d'étude un animal. Méconnaissant les vers à soie et leur cycle, il s'instruit après du grand entomologiste Jean-Henri Fabre (1823 – 1915). Les vers atteints sont parsemés de points noirs qui évoquent le poivre (*pebre*) et ont inspiré son nom à cette maladie, la pébrine. Toute une équipe s'installe dans le Gard et se met au travail avec ardeur pour sauver l'industrie de la soie : on veille jour et nuit les chambrées de vers à soie, on ramasse des kilogrammes de feuilles de mûrier pour les nourrir, on épluche les cocons, on trie, on broie et on observe au microscope... les vers malades présentent des micro-organismes appelés corpuscules, mais cette observation ne concorde pas toujours avec l'état souffreteux de certains vers. Les recherches sont en fait perturbées par une deuxième maladie, la flacherie, détectée au microscope par la présence de vibrions, organismes en forme de virgule. Ce n'est qu'au bout de deux ans que Pasteur comprend que ces corpuscules et vibrions sont les agents infectieux des maladies. Il met au point et diffuse des méthodes pratiques, rigoureuses mais simples, pour obtenir des élevages sains.

Un élément d'exposition de ce quatrième acte :

- **un praxinoscope**, qui présente le cycle de vie du lépidoptère et le passage de l'œuf à l'état de papillon en passant par les stades de la chenille et de la chrysalide. Rappelons que ce jouet optique donne l'illusion du mouvement et fonctionne sur le principe de la persistance rétinienne. Les élèves font donc tourner le praxinoscope à la main et peuvent ainsi observer une animation graphique sur le cycle de vie du ver à soie. L'animation est composée de 32 images, reflétées par 32 miroirs.



Ver à soie et cocon.  
Crédit : Srithern / CC BY-SA 3.0.

→ Cette section, sans doute la plus attendue de l'exposition, rend compte des travaux de Pasteur sur le choléra des poules, le charbon du mouton et la rage.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, les maladies infectieuses sont les premières causes de décès prématurés. La pensée dominante les attribue généralement à une activité anormale des cellules. Pour Pasteur, elles sont dues à la contamination de l'organisme par des microbes pathogènes extérieurs. Il en fait la démonstration avec la maladie du charbon. S'inspirant du vaccin contre la variole d'Edward Jenner, Pasteur cherche obstinément le moyen d'induire une immunité contre d'autres maladies animales et humaines. Il débute ses essais sur le choléra des poules et le charbon des moutons avant de s'attaquer à la rage, maladie qui terrorise les populations par la brutalité de ses symptômes.

Ainsi, Pasteur a trouvé un moyen d'immuniser contre certaines maladies infectieuses : il atténue la virulence des micro-organismes responsables des maladies et les injecte dans l'organisme. À cette époque, il travaille sur la composition de ses vaccins de manière intuitive et ne comprend pas vraiment les mécanismes biologiques de l'immunité. Dans un premier temps, il pense même que l'immunisation consiste à consommer, jusqu'à épuisement, une substance du corps nécessaire au microbe pathogène. L'action des anticorps et des cellules phagocytes sera mise au jour par certains de ses collaborateurs et concurrents.

Quelques éléments d'exposition de ce cinquième acte :

- « **les maladies du siècle** », un **élément** qui rappelle que maladies infectieuses (choléra, diphtérie, fièvre jaune, fièvre puerpérale, fièvre typhoïde, peste, rage, syphilis, tétanos, tuberculose, typhus, variole) sont les premières causes des décès prématurés au XIX<sup>e</sup> siècle. En confirmant leur origine microbienne, Louis Pasteur et Robert Koch (1843 – 1910) font la lumière sur leur mode de propagation et laissent entrevoir des moyens de limiter leur transmission ;
- **un élément sur Edward Jenner**, l'un des pionniers de la vaccination, mot qui vient du latin *vacca*, la vache. La vaccine est une maladie de la vache, qui se transmet à l'homme sans grave conséquence. En Angleterre, au XVIII<sup>e</sup> siècle, un fait curieux est observé : les fermiers chargés de traire les vaches atteintes de vaccine sont protégés contre la variole, une maladie humaine extrêmement meurtrière. Le médecin de campagne Edward Jenner est l'un des premiers à transmettre intentionnellement la vaccine à un sujet pour tenter de provoquer une immunité contre la variole. Les travaux d'Edward Jenner sur la vaccination inspireront Louis Pasteur au siècle suivant. Celui-ci cherchera à obtenir, pour chaque maladie infectieuse, la forme atténuée correspondante qui pourra rendre l'organisme réfractaire à la maladie virulente, sans faire courir le risque d'une infection mortelle ;

- **un élément relatant l'invention de l'antiseptie et de l'asepsie.** L'hôpital du XIX<sup>e</sup> siècle connaît un taux de mortalité effrayant : les praticiens passent des autopsies aux accouchements sans se laver les mains et les chambres sont malpropres. Les médecins considèrent que les maladies sont spontanées et que leur propagation n'a aucun lien avec leurs pratiques. S'appuyant publiquement sur les travaux de Pasteur, qui imputent les maladies aux microbes, Joseph Lister, chirurgien britannique, théorise l'antiseptie pour tuer les germes dans les plaies. Pasteur va plus loin et prône l'asepsie, qui empêche les germes d'atteindre les chairs : on protège les plaies avec des pansements en coton stérilisés, on se lave les mains. Une nouvelle ère s'ouvre pour les pratiques médicales et hospitalières ;
- **un mapping vidéo sur une sculpture de mouton** explique comment Pasteur a résolu le mystère des "champs maudits". Sous cette expression absconse se cache un fléau sanitaire et économique représenté par la maladie du charbon, qui s'observe le plus souvent chez les animaux herbivores et à laquelle le mouton est particulièrement sensible. Songez que, vers 1850, la mortalité s'élevait en Auvergne à près de 15 % du cheptel et de 20 à 50 % en Beauce ! En enquêtant directement sur le terrain, Pasteur lève le voile sur le mécanisme de diffusion de cette « fièvre charbonneuse » et propose des mesures sanitaires efficaces qui limitent la contamination. La vaccination sera l'étape suivante.
- **« le jeu de poules »,** inspiré des dispositifs forains, où les élèves sont invités à comprendre la vaccination à travers le choléra des poules. L'objectif de ce jeu est de montrer la nécessité de réaliser plusieurs inoculations successives du virus-vaccin pour obtenir un protocole de vaccination complète. Il se fonde sur l'un des comptes rendus de Pasteur à l'Académie des sciences (1880) :
 

*« Je prends quatre-vingts poules neuves. J'appelle de ce nom les poules qui n'ont jamais eu la maladie du choléra des poules, ni spontanée, ni communiquée.*

  - 1) *À vingt d'entre elles j'inocule le virus très virulent ; les vingt périssent.*
  - 2) *Des soixante qui restent, j'en distrais encore vingt et je les inocule par une seule piqûre, à l'aide du virus le plus atténué que j'aie pu obtenir. Aucune ne meurt. Sont-elles vaccinées pour le virus très virulent ? Oui, mais seulement un certain nombre d'entre elles. En effet, si sur ces vingt poules je pratique l'inoculation du virus le plus virulent, six ou huit, par exemple, tout en étant malades, ne mourront pas, contrairement à ce qui a eu lieu pour les vingt premières poules neuves, dont vingt sur vingt ont péri.*
  - 3) *Je distrais de nouveau du lot primitif vingt poules neuves que je vaccine par deux piqûres appliquées successivement après un intervalle de sept à huit jours. Seront-elles vaccinées pour le virus très virulent ? Afin de le savoir, réinoculons-les par ce virus. Cette fois-ci, contrairement aux résultats de la deuxième expérience, ce n'est plus six ou huit qui ne mourront pas, mais douze ou quinze.*
  - 4) *Enfin, si je distrais encore vingt poules du lot primitif et que je les vaccine successivement par le virus atténué, non pas une fois, mais trois ou quatre, la mortalité par l'inoculation du virus très virulent, la maladie même seront nulles. Dans ce dernier cas, les animaux sont amenés aux conditions de ceux qui ne contractent jamais le choléra des poules.*



- **une reproduction de la ferme de Pouilly-le-Fort** où Pasteur réalise une expérience de vaccination spectaculaire en 1881. Tout commence en août 1880. Le vétérinaire et médecin Henri Toussaint annonce avoir immunisé des moutons contre la maladie du charbon. Il s'est inspiré des travaux de Pasteur sur le choléra des poules. Pour Toussaint, l'immunité est le résultat d'une substance produite par la bactérie. Cependant, la substance qu'il utilise ne résulte pas de cultures du microbe mais de sang défibriné de moutons morts de la maladie. D'autre part, selon les communications faites par Toussaint, il apparaissait que le vaccin était parfois constitué de bactéries tuées et parfois de bactéries vivantes atténuées. Fort des conclusions qu'il tire de l'expérience sur le choléra des poules, Pasteur pense que l'immunisation résulte de la réaction du milieu infecté à une première inoculation d'une version atténuée de l'agent pathogène. Il décide de lancer son laboratoire dans la vérification des résultats de Toussaint.

En 1881, Charles Chamberland, Louis Pasteur et Émile Roux relatent à l'Académie des sciences leurs résultats expérimentaux sur l'atténuation et la vaccination contre la maladie du charbon. La société d'Agriculture de Melun propose à Pasteur de vérifier, à une plus grande échelle, les résultats présentés à l'Académie. Un protocole d'expérimentation contraignant est accepté par Pasteur. Le lieu d'expérimentation est une ferme située à Pouilly-le-Fort, en Seine-et-Marne. Tout est organisé pour que l'évènement ait un grand retentissement et qu'en passant du laboratoire à un terrain « réel », les sceptiques soient convaincus. Deux groupes d'animaux (moutons, chèvres et vaches) sont sélectionnés. Le premier sera vacciné, le second ne le sera pas. Le 5 mai 1881, on inocule le bacille du charbon atténué à 24 moutons, une chèvre et six vaches du premier groupe. Le 17 mai on leur inocule de nouveau une version atténuée, légèrement plus virulente. Le 31 mai, les animaux des deux groupes reçoivent une dose très virulente du bacille charbonneux. Le 2 juin, l'assistance constate avec stupéfaction que les animaux du premier groupe sont en bonne santé. Par contre les moutons et la chèvre n'ayant pas été vaccinés sont morts du charbon, certains agonisant sous les yeux des spectateurs. Les vaches non vaccinées n'étaient pas mortes mais présentaient des symptômes de la maladie. Cette expérience célèbre a eu un écho considérable, y compris chez les vétérinaires sceptiques. Ils allaient avoir à disposition un vaccin issu du « virus » de la maladie du charbon. C'est grâce au travail de Chamberland et de Roux sur la méthode d'atténuation mise au point pour l'expérience de Pouilly-le-Fort que la production d'un virus-vaccin stable est rendue possible. Pasteur trouve dans ce résultat expérimental la confirmation pratique d'une théorie en germe depuis un moment : le principe de la vaccination peut théoriquement être étendu à toutes les maladies infectieuses.



- « **la rage, protocole expérimental** » est un élément qui traite de la mise au point du vaccin contre la rage. Certes, la maladie touche peu de monde mais ses effets sont très spectaculaires et marquent les esprits. Rétrospectivement, il faut admettre que Pasteur s'attaque à une montagne ! L'agent infectieux n'est pas visible avec les moyens d'observation de l'époque : il s'agit d'un virus (au sens contemporain du terme) dont les premières images ne viendront dans les années 1960. Les études de Pasteur sur la rage débutent en 1880 par une erreur. Dans un premier temps, il pense avoir isolé un nouveau micro-organisme dans un échantillon prélevé sur un enfant décédé de la rage. Il doit renoncer après plusieurs mois d'étude, faute d'avoir identifié le « virus » de la rage, et se concentre désormais sur son inoculation et sur les moyens d'en accélérer l'incubation. Cela permettra de déclencher plus rapidement la rage et de réduire d'autant les cycles expérimentaux.

Faute de pouvoir cultiver le microbe de la rage dans un milieu de culture, Pasteur le « cultive » sur des animaux, en transférant successivement les cultures d'un animal à l'autre. Il en arrive également à une méthode d'inoculation à la base du cerveau. Il s'inspire en cela des travaux réalisés en 1879 par Paul Henri Duboué (1834 – 1889) qui aboutissait à la conclusion que le virus migrait des nerfs touchés par la morsure jusqu'à la moelle épinière. Émile Roux expérimente une nouvelle méthode d'atténuation qui s'avère efficace : il dessèche la moelle épinière d'un lapin victime de la rage. La multiplication des expériences sur les chiens conduit l'État à mettre à disposition de Pasteur une propriété à Marnes-la-Coquette pour continuer ses expériences de contrôle sur des populations plus grandes.

Le 6 juillet 1885 un cas de rage est soumis à Pasteur. Le jeune Joseph Meister, un alsacien de 9 ans, mordu plusieurs fois par un chien enragé est amené par sa mère. Il n'y a pas de certitude sur le fait que l'enfant ait contracté la rage. Mais Pasteur voit dans ce cas l'opportunité d'expérimenter l'application de sa méthode sur l'homme. Il exprime pourtant des doutes, dans ses Cahiers de laboratoire, sur la complétude des tests de contrôle effectués sur les chiens. D'après René Dubos, Roux pensait également que les tests sur les animaux n'avaient pas été menés à leur terme. Pasteur prend le risque et commence une série d'inoculations sur le jeune Joseph Meister (13 pendant 11 jours). Commencent alors pour Pasteur des semaines d'anxiété. Mais l'enfant échappe à la mort.

Dans une adresse à l'Académie des sciences, le 26 octobre 1885, Pasteur rend compte de ses résultats. Dès le lendemain, les comptes rendus dans la presse sont dithyrambiques : Pasteur a vaincu l'un des fléaux de l'humanité.

Alors que le protocole mené sur Joseph Meister était resté secret, le cas de Jean-Baptiste Jupille, qui est traité du 20 au 30 octobre 1885, sera plus directement médiatisé.

Les nombreuses campagnes de vaccinations contre la rage menées en France et dans le monde par la suite et les statistiques fournies par une commission de contrôle anglaise en 1887 confirmeront l'efficacité du vaccin contre la rage.

Pasteur reviendra ensuite sur la nature du fonctionnement de son vaccin. Il constate que ce n'est pas l'atténuation de la virulence qui est en jeu mais la diminution la population de virus.

- **un panneau narrant la fondation de l'Institut Pasteur.** Avec le succès de son vaccin contre la rage, diffusé par la presse du monde entier, Pasteur est vite submergé par le nombre de « mordus » qui se bousculent dans son laboratoire de la rue d'Ulm. Il lui faut penser plus grand, et il a alors l'idée de créer un établissement indépendant à même de répondre à la demande croissante de vaccination. Une souscription nationale et internationale est lancée par l'Académie des sciences. Deux ans plus tard, le 14 novembre 1888, l'Institut Pasteur est inauguré par le président de la République Sadi Carnot.

## ACTE 6 : LES HERITIERS (1895 – 1930)

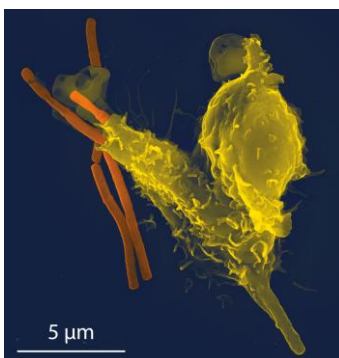
→ Cette section s'attache à décrire les grandes avancées qui découlent de l'activité de Pasteur et de ses collaborateurs de la première heure.

Pendant les dix dernières années de sa vie, Pasteur organise à grande échelle l'application de son traitement contre la rage et la poursuite de la recherche sur les maladies infectieuses. Dans le contexte d'expansion coloniale de l'empire français, l'Institut Pasteur essaime bientôt hors des frontières hexagonales. De fidèles collaborateurs de Pasteur et de nouveaux chercheurs entrent en scène, comme :

- Émile Duclaux (1840 – 1904), son premier successeur à la tête de l'Institut Pasteur ;
- Émile Roux (1853 – 1933), son second successeur ;
- Alexandre Yersin (1863 – 1943), le découvreur du bacille de la peste ;
- Albert Calmette (1863 – 1943) et Camille Guérin (1872 – 1961), les inventeurs du vaccin contre la tuberculose ;
- Élie Metchnikoff (1845 – 1916), le découvreur de la phagocytose, c'est-à-dire le mécanisme qui permet à certaines cellules spécialisées ainsi qu'à certains organismes unicellulaires l'ingestion de particules étrangères – bactéries, débris cellulaires, poussières.

Un élément d'exposition de ce sixième acte :

- **un grand spectacle audiovisuel** récapitule la recherche et les découvertes face aux maladies infectieuses dans les instituts Pasteur à travers le monde jusqu'en 1930.



Une cellule sanguine appartenant à la lignée des globules blancs (appelée neutrophile, en jaune) phagocytant des bacilles du charbon (en orange).  
Photo prise avec un microscope électronique.  
Crédit : Volker Brinkmann / CC BY-SA 3.0.

→ Cette partie rend compte de problématiques contemporaines, analogues à celles auxquelles a été confronté Pasteur. Il y est question de nouvelles méthodes pour cultiver les micro-organismes ou pour les observer. Cette partie traite également de la vaccination, de ses fondamentaux et de quelques exemples contemporains.

Au siècle de Pasteur, un monde s'est ouvert, invisible jusqu'alors. Sous l'œil de microscopes, armé d'outils inventés pour l'occasion, on observe, on colore, on analyse les caractéristiques des micro-organismes. Puis on les ensemence et on les cultive, on décrit leurs rôles et on les manipule. Aujourd'hui, l'ingéniosité expérimentale est toujours à l'œuvre pour repousser les frontières de ce monde invisible. L'idée n'est plus tant de faire contre ces micro-organismes que de faire avec eux. Beaucoup d'astuce et l'aide des nouvelles technologies concourent à mieux les apprivoiser, les analyser et les approcher pour saisir les multiples facettes d'une réalité qu'on ne peut « voir » directement.

Quelques éléments d'exposition de cet épilogue :

- **un audiovisuel sur la culture des bactéries ;**
- **un audiovisuel sur la métagénomique.** Levons le voile sur cette méthode qui fait figure de révolution dans le domaine de la génétique.  
Plus encore que Pasteur ne le soupçonnait, les micro-organismes sont partout. Leur nombre et leur diversité dépassent l'entendement. Ils nous sont indispensables et jouent un rôle vital dans tous les écosystèmes. Toutefois, beaucoup sont réfractaires à toute tentative de culture. Les scientifiques ont donc mis au point une méthode révolutionnaire pour les étudier : la métagénomique. Elle permet d'analyser, en une seule fois, l'ADN de tous les organismes vivants présents dans un échantillon de milieu naturel (eau de mer, terre, salive, etc.)  
La première étape consiste à détruire la membrane des cellules des micro-organismes pour ne récupérer que l'ADN. Les différentes molécules d'ADN sont ensuite fragmentées en petits morceaux, plus facilement lisibles. Lorsque cette phase de préparation est accomplie, les chercheurs placent les fragments d'ADN dans un séquenceur, une machine capable d'analyser des dizaines de millions de brins d'ADN en même temps ! L'intégralité des données obtenues est envoyée sous forme d'énormes tableaux à des fins d'étude. À l'aide d'ordinateurs, de programmes informatiques et de serveurs très volumineux, les chercheurs n'ont plus qu'à scruter méticuleusement les résultats et à les comparer aux immenses bases de données dont ils disposent. Ils peuvent ainsi déterminer quels micro-organismes étaient présents dans l'échantillon, en quelle quantité... et, éventuellement, repérer des organismes jusqu'alors inconnus et découvrir de nouveaux gènes intéressants pour la recherche et pour l'industrie ;
- **un multimédia sur les nouvelles façons de voir le monde microscopique ;**
- **un multimédia sur des pistes de recherche en vaccinologie et des fiches sur la vaccination.** Ce thème fondamental sera développé dans le chapitre « Ressources » de ce document.



- **une liste de micro-organismes.** Vibrions, bactériidies, infusoires, animalcules, levures... Dès qu'ils ont été en mesure de les observer, les scientifiques ont cherché à nommer et regrouper les micro-organismes en fonction, par exemple, de leur forme, de leurs mouvements ou de leur milieu de vie. Les microbes capables de se déplacer étaient alors considérés comme des animaux, les autres comme des végétaux. Dans la classification du vivant la plus récente, dite phylogénétique, basée notamment sur la notion d'ancêtre commun et les degrés de parenté entre espèces, les micro-organismes sont répartis dans les trois grands domaines du vivant que sont les bactéries, les archées et les eucaryotes.

### Que reste-t-il de Pasteur ?

Un audiovisuel de sept minutes raconté par Erik Orsenna et Léo Grasset sur la découverte du rôle des micro-organismes dans de nombreux processus relatifs à la vie.

**Erik Orsenna** est un écrivain et académicien né en 1947. Il est l'auteur, entre autres, d'une biographie de Pasteur.

**Léo Grasset** est un vidéaste et écrivain né en 1989, principalement connu pour sa chaîne YouTube DirtyBiology (<http://dirtybiology.com>)

→ DirtyBiology est une chaîne de vidéos de vulgarisation scientifique axée sur les sciences « des choses vivantes ou qui semblent l'être » que Léo Grasset produit depuis juin 2014. Elle est axée sur la biologie, les sciences de l'information, l'histoire et l'anthropologie, le tout « saupoudré d'une bonne pincée de culture pop/geek ».



Le musée Pasteur permet de découvrir en un seul et même lieu différents aspects de la vie et de l'histoire de Louis Pasteur. Le musée Pasteur est installé dans l'appartement où Louis Pasteur passa les sept dernières années de sa vie. Les pièces, conservées en l'état, témoignent de la vie quotidienne du couple Pasteur, tandis que dans la salle des souvenirs scientifiques, les instruments scientifiques d'origine retracent les nombreuses découvertes de l'illustre savant. La visite se termine par la superbe crypte d'inspiration byzantine où reposent Louis Pasteur et son épouse.

Le musée Pasteur est, jusqu'à nouvel ordre, fermé aux visites individuelles mais accessible aux visites de groupes. Plus d'informations ici :

<https://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/musee-pasteur>

## III Ressources

### III.1 Au sein de l'exposition

#### Exposé **Microbes à tout faire**

de la 3<sup>e</sup> à la terminale

Qu'est-ce qu'un microbe ? Comment les a-t-on découverts ? Où vivent-ils ? Après un bref rappel général sur ces « petites vies », les visiteurs pourront découvrir, par des démonstrations pratiques, les techniques utilisées en routine pour les étudier, de leur observation à leur mise en culture. Nous nous intéresserons également aux phénomènes de fermentation, de la conservation à la production d'aliments, jusqu'à découvrir comment les micro-organismes sont aujourd'hui utilisés comme de véritables petites usines à produire les composés les plus étonnants...

#### Exposé **Vaccins : où en est-on aujourd'hui ?**

de la 3<sup>e</sup> à la terminale

Face aux maladies infectieuses, les scientifiques ont su faire preuve d'imagination. De l'inhalation de croûte de pustules séchées à l'injection d'un vaccin, l'objectif reste le même : protéger un individu ou un groupe d'individus de l'action néfaste d'un agent infectieux. Partant d'anecdotes historiques, cet exposé propose de faire un point sur les vaccins. Que contiennent-ils ? Comment agissent-ils ? Existe-t-il des vaccins différents pour des populations différentes ? Certaines maladies sont-elles encore de véritables dangers aujourd'hui ? Pour étayer ces questions, nous prendrons l'exemple de différents vaccins dont certains font partie de la liste des 11 maladies cibles de vaccins devenant obligatoires au 1<sup>er</sup> janvier 2018.

#### Exposé **Virus. Du poison au médicament**

pour le grand public

Vous en mangez quotidiennement, ils se multiplient par milliards dans vos intestins, et ce ne sont pas des bactéries. Vous les craigniez peut-être et pourtant ils sont majoritairement inoffensifs. Les virus sont des entités biologiques à la frontière du vivant. Ces étrangetés nanoscopiques sont pourtant au cœur de nos vies, bien au-delà des maladies qu'ils peuvent transmettre. Découvrez la nature des virus, le rôle ambigu qu'ils jouent dans la nature, et comment ils peuvent être utilisés par les médecins ! Prenez en main les clés d'un débat qui s'annonce : peut-on utiliser des virus pour soigner ?

#### Exposé **Molécules miroirs / sriorim selucéloM**

pour le grand public

Regardez vos mains, semblables mais pas identiques ; découvrez le même principe à l'échelle moléculaire. Comment ? En manipulant des modèles moléculaires, des odeurs, des liquides ou des cristaux ! Initiez-vous à la chiralité, notion complexe qui met en jeu les symétries dans l'espace... un jeu de miroir !

## III.2 Les éditions

- Un catalogue d'exposition, *Louis Pasteur, le visionnaire*

Un livre dirigé par Maxime Schwartz et Annick Perrot, aux Éditions de la Martinière.

« Qui est Louis Pasteur (1822-1895) ? Ce catalogue de l'exposition *Pasteur l'expérimentateur* au Palais de la découverte retrace le parcours de l'éminent scientifique français, pionnier de la microbiologie, identifié comme le père de certaines des plus importantes révolutions du XIX<sup>e</sup> siècle : de ses recherches naîtront la vaccination contre la rage et la pasteurisation. Mais ses découvertes s'étendent bien au-delà. Il a ainsi été particulièrement prolifique dans les domaines de la chimie, de l'agriculture, de la viticulture et de l'hygiène médicale. D'autant que Louis Pasteur est un entrepreneur, il sait communiquer et s'entourer de disciples, au sein d'une structure novatrice, le laboratoire. En 1887, il fonde l'Institut qui porte son nom. Dès lors, le rayonnement des instituts Pasteur ne cessera de croître, réunissant à ce jour 33 établissements dans 26 pays. Véritable voyage dans sa vie et son œuvre, ce catalogue richement illustré de documents d'archives renouvelle notre vision de Louis Pasteur. Il présente le savant et ses études, mais aussi l'homme dans son intimité. Sait-on que, jeune homme, il avait un talent de pastelliste ? L'ouvrage évoque aussi la notoriété qu'il acquit de son vivant, sans négliger l'accueil critique et les controverses parfois suscitées par ses travaux ».

190 x 255 mm - 192 pages - 29,90 €

2 cahiers hors-texte de 8 pages

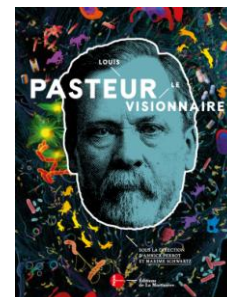
Version numérique : 9,99 €

En vente à la boutique, à la billetterie et sur la billetterie en ligne.

### Les directeurs d'ouvrage :

Ancien élève de l'École Polytechnique et chercheur, **Maxime Schwartz** a été directeur scientifique de l'Institut Pasteur, puis dès 1988 en devient le directeur général pour douze ans. De 2002 à 2006, il est ensuite directeur scientifique de l'Agence de Sécurité Sanitaire des Aliments. Membre correspondant de l'Académie des sciences depuis 1987, ses travaux portent sur la biologie moléculaire des bactéries. Il a notamment publié avec Annick Perrot chez Odile Jacob, *Pasteur et ses lieutenants. Roux, Yersin et les autres* (2013), *Pasteur et Koch. Un duel de géants dans le monde des microbes* (2014) et *Le Génie de Pasteur au secours des Poilus* (2016).

Diplômée de l'École du Louvre, **Annick Perrot** a été conservateur du musée Pasteur et du musée des applications de la recherche de 1982 à 2010. À ce titre, elle a organisé des expositions à travers le monde, coordonné la création du Musée Yersin à Nha Trang au Vietnam (1996-1997) et celle du musée de l'Institut Pasteur d'Hanoi. Elle participe à la diffusion de l'œuvre pasteurienne en donnant des conférences en France et dans de nombreux pays étrangers, et en publiant plusieurs ouvrages cosignés avec Maxime Schwartz.



- Un album jeunesse *Louis Pasteur, enquêtes pour la science*  
Un livre de Florence Pinaud, illustré par Julien Billaudeau  
Coédité avec Actes Sud junior.

Pasteur, un mythe revisité. Dans cet ouvrage, on découvre comment un jeune homme doué en dessin est devenu un grand scientifique. De la naissance d'une vocation à la découverte du vaccin contre la rage et à la consécration, on découvre un personnage à la forte personnalité et dont, malgré les controverses, l'empreinte est restée très forte dans la médecine moderne.

22 x 28 cm - 72 pages - 16,90 €

### L'auteure

Journaliste dans les secteurs économiques et sociaux, **Florence Pinaud** a concilié les sujets très sérieux et quelques joyeuses incursions dans la presse jeunesse. Journaliste à *La Tribune*, elle travaille également pour *Espace social européen* et anime un blog sur les animaux. Auteur d'ouvrages documentaires et pratiques (*Manager la génération Y*, 2011, éditions Dunod), elle a publié chez Actes Sud Junior *Respecter les animaux à petits pas*, *La mode sous toutes les coutures*, *C'est mathématique ! A l'école des espions*, *La guerre secrète des microbes* (Prix Le Goût des Sciences en 2016), *Question d'intelligence* et *Louis Pasteur : enquête pour la science*.



## III.3 Bibliographie

- Le catalogue d'exposition présenté en page précédente.
- L'album jeunesse de l'exposition présenté sur cette page.

### Magazines

- *Pasteur. Microbes et controverse*, Les génies de la science (revue trimestrielle d'histoire des sciences édité par le groupe Pour la Science) n°33, novembre 2007 – janvier 2008.
- *Le guide des vaccins*, Science & Vie hors-série n°277, décembre 2016.
- Maxime Schwartz, *Que doit-on à Pasteur ?*, revue *Découverte* n°41X, 20XX.

### Livres

- Bruno Latour, *Pasteur. Une science, un style, un siècle*, éd. Perrin / Institut Pasteur, 1994.
- René Dubos, *Louis Pasteur. Franc-tireur de la science*, éd. La Découverte, 1995.
- Daniel Raichvarg, *Louis Pasteur. L'empire des microbes*, éd. Gallimard, 1995.
- Sous la direction d'Anne-Marie Moulin, *L'aventure de la vaccination*, éd. Fayard, 1996.
- Jean-Pierre Dedet, *Les instituts Pasteur d'outre-mer. Cent vingt ans de microbiologie française dans le monde*, éd. L'Harmattan, 2001.

- Lady Mary Montagu, *L'islam au péril des femmes. Une Anglaise en Turquie au XVIII<sup>e</sup> siècle*, introduction, traduction et notes d'Anne-Marie Moulin et Pierre Chuvin, éd. La Découverte, 2001.
- Primo Levi, *L'asymétrie et la vie*, éd. Robert Laffont, 2004. Primo Levi, très connu pour ses écrits sur l'univers concentrationnaire, était chimiste, de formation et de métier. Le rapport à la matière et à ses transformations imprègne son œuvre.
- Clotilde Policar, *Penser et voir en trois dimensions : un saut épistémologique en chimie*, in *Symétries. Symétries et asymétries du vivant*, sous la direction de Maryse Siksou, éd. Lavoisier, 2005.
- Patrick Berche, *Une histoire des microbes*, éd. John Libbey Eurotext, 2007.
- Hervé Bazin, *L'histoire des vaccinations*, éd. John Libbey Eurotext, 2008.
- Maxime Schwartz et François Rodhain, *Des microbes ou des hommes, qui va l'emporter ?*, éd. Odile Jacob, 2008.
- Patrice Debré, *Louis Pasteur*, éd. Flammarion, 2010.
- Bruno Latour, *Pasteur : guerre et paix des microbes*, éd. La Découverte, 2011.
- Patrice Debré et Jean-Paul Gonzalez, *Vie et mort des épidémies*, éd. Odile Jacob, 2013.
- Agnès Desquand, *Madame Pasteur*, éd. DMODMO..., 2013.
- Patrick Deville, *Peste & choléra*, éd. Points, 2013. Il s'agit d'un roman à succès traitant d'un disciple de Pasteur, Alexandre Yersin.
- Annick Perrot et Maxime Schwartz, *Pasteur et ses lieutenants. Roux, Yersin et les autres*, éd. Odile Jacob, 2013.
- Annick Perrot et Maxime Schwartz, *Pasteur et Koch. Un duel de géants dans le monde des microbes*, éd. Odile Jacob, 2014.
- Patrice Debré, *L'homme microbiotique*, éd. Odile Jacob, 2015.
- Christine Moissinac, *Émile Duclaux. De Pasteur à Dreyfus*, éd. Hermann, 2015.
- Sous la direction de Dominique Pestre, *Histoire des sciences et des savoirs, tome 2. Modernité et globalisation*, éd. Seuil, 2015.
- Annick Perrot et Maxime Schwartz, *Le génie de Pasteur au secours des Poilus*, éd. Odile Jacob, 2016.
- Erik Orsenna, *La vie, la mort, la vie. Louis Pasteur (1822-1895)*, éd. Le livre de Poche, 2017.
- Philippe Sansonetti, *Vaccins*, éd. Odile Jacob, 2017.

### En langue anglaise

- Gerald L. Geison, *The private science of Louis Pasteur*, Princeton University Press, 1995.



### III.4 Thème : le phénomène de contagion

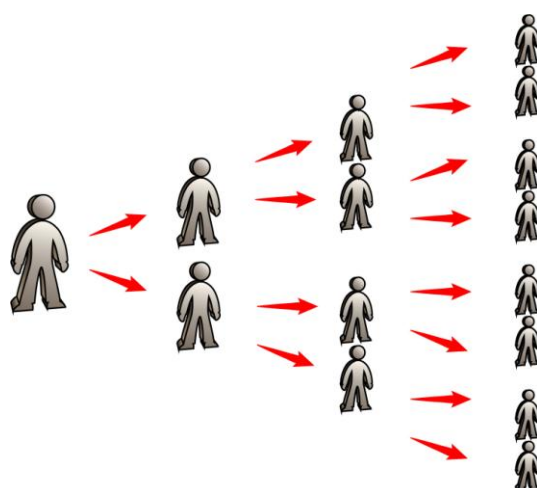
Ce thème s'inspire d'une étude menée dans le cadre de l'exposition *Viral l'expo, du microbe au fou rire, tout s'attrape* présentée au Palais de la découverte d'octobre 2016 à août 2017.

**Le premier modèle** que nous proposons permet de dénombrer de façon très simplifiée les individus ayant été contaminés par une maladie et pouvant la transmettre à leur tour.

À un instant donné, le nombre de personnes infectées dépend de deux facteurs :

- Le temps moyen qu'il faut à l'agent infectieux pour passer d'un individu à un autre ;
- Le nombre moyen de contacts auxquels un individu transmet l'agent infectieux.

Supposons d'abord qu'un individu infecté ne transmette l'agent qu'à deux de ses contacts.



- 1 Au début de notre expérience, il n'y a qu'un seul individu infecté.
- 2 Il transmet l'agent à deux contacts. C'est la première étape. Au total, il y a donc  $1 + 2 = 3$  individus infectés.
- 3 Les deux individus nouvellement infectés transmettent **chacun** l'agent à deux nouvelles personnes de leur réseau. À la fin de cette deuxième étape, quatre nouveaux individus sont infectés. Le nombre total d'individus infectés est maintenant de  $1 + 2 + 4 = 7$ .
- 4 À la fin de l'étape suivante, la troisième, huit nouveaux individus sont infectés, portant le nombre total de personnes infectées à  $1 + 2 + 4 + 8 = 15$ .
- 5 L'étape suivante se clôt avec 16 nouvelles infections, pour un total de 31 infectés.

Notre hypothèse de départ impose au nombre d'individus infectés de doubler après chaque étape.

Mathématiquement, le problème se modélise à l'aide d'une suite géométrique. Une suite géométrique a la forme suivante :  $u_0 = a$ ,  $u_1 = aq$ ,  $u_2 = aq^2$ ,  $u_3 = aq^3$ ,  $u_4 = aq^4$ , etc., où  $a$  est le premier terme de la suite et  $q$  est la raison. Ici, avec  $a = 1$  et  $q = 2$ , les dix premiers termes sont 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 et 512.

Le nombre d'individus nouvellement infectés après l'étape  $i$  n'est autre que le  $(i+1)$ -ième terme de cette suite.

Le nombre **total** d'individus infectés après l'étape  $i$  est la somme des termes de la suite géométrique que nous venons de définir, calculés jusqu'à l'étape  $i$  incluse. Or, on démontre que la somme  $S_n$  des  $n$  premiers termes d'une suite géométrique vaut :

$$S_n = a \frac{1 - q^{n+1}}{1 - q} \text{ où } a \text{ est le premier terme de la suite et } q \text{ la raison.}$$



Avec  $a = 1$  et  $q = 2$ , il vient  $S_n = 2^{n+1} - 1$ .

On vérifie facilement que cette formule donne des résultats exacts : après une étape  $S_1 = 2^2 - 1 = 3$ , après deux étapes  $S_2 = 2^3 - 1 = 7$ , après trois étapes  $S_3 = 2^4 - 1 = 15$  et après quatre étapes  $S_4 = 2^5 - 1 = 31$ .

### Au bout de combien d'étapes la population mondiale serait-elle infectée ?

Il y aurait aujourd'hui (2017) environ 7,6 milliards d'habitants sur Terre. Nous cherchons donc le plus petit entier  $n$  tel que la somme  $S_n$  soit supérieure à 7,6 milliards. On peut « tâtonner » pour trouver  $n$  mais le plus simple est de travailler avec les logarithmes. Comme les nombres concernés sont ici très grands, on peut tout à fait négliger 1 devant  $2^{n+1}$  et écrire que  $S_n$  est très proche de  $2^{n+1}$ .

$$\begin{aligned} S_n > 7,6 \cdot 10^9 &\rightarrow \log(S_n) > \log(7,6 \cdot 10^9) \\ &\rightarrow \log(2^{n+1}) > \log(7,6 \cdot 10^9) \\ &\rightarrow (n+1) \log(2) > \log(7,6 \cdot 10^9) \\ &\rightarrow n > \frac{\log(7,6 \cdot 10^9)}{\log(2)} - 1 \end{aligned}$$

On peut écrire  $n = E\left(\frac{\log(7,6 \cdot 10^9)}{\log(2)}\right)$  où  $E$  est la fonction partie entière. Il vient  $n = 32$ . Avec

l'hypothèse qu'un individu infecté transmet l'agent à deux de ses contacts, il faudrait 32 étapes pour que la totalité de la population mondiale soit infectée. Combien de temps cela prendrait-il ? La réponse s'obtient en multipliant 32 par la durée de l'étape, c'est-à-dire par le temps moyen qu'il faut à l'agent pour passer d'un individu à un autre. En médecine, on l'appelle *intervalle de génération*.

Le modèle que nous venons de présenter est très simple. Il ne prend pas en compte, entre autres, le fait qu'une personne infectée peut guérir et donc ne plus être contaminée, que beaucoup d'individus sont isolés, que beaucoup d'autres sont immunisés et ne développeront pas de maladie ou encore qu'au bout de quelques étapes, il y aura forcément des doublons parmi les personnes infectées.

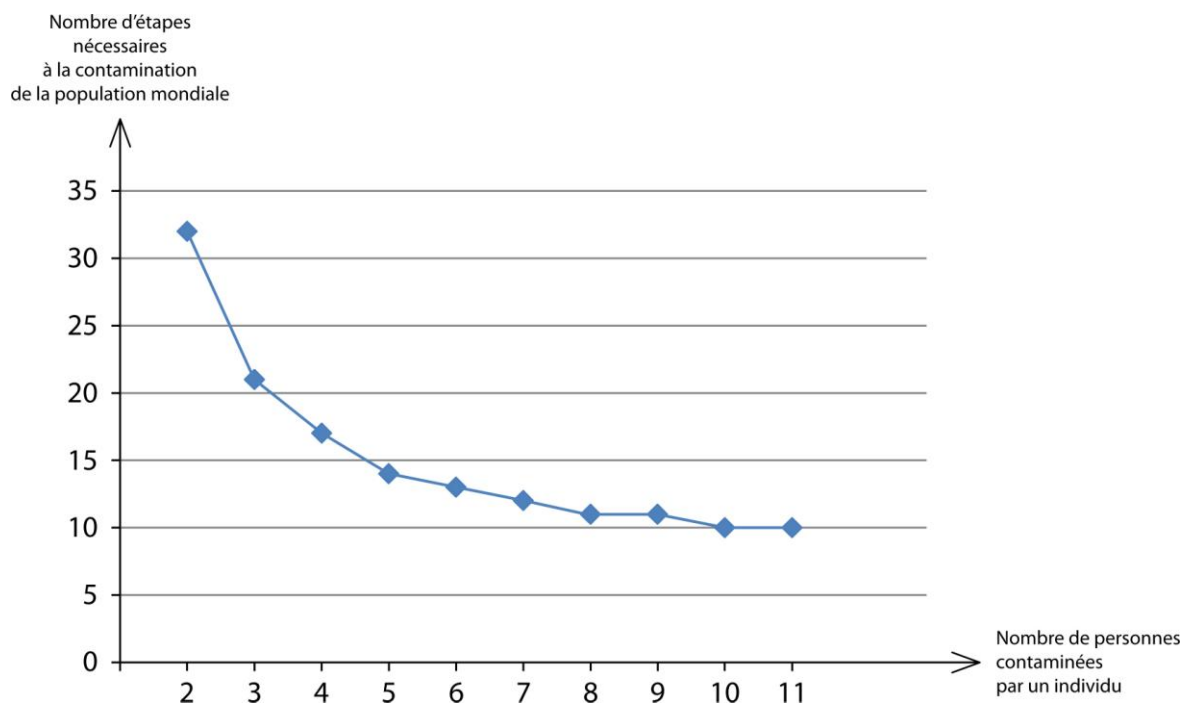
Que se passerait-il si un individu infecté transmettait l'agent non à pas à deux, mais à trois de ses contacts ? Intuitivement, on s'attend à ce que le nombre d'étapes soit plus petit. Le calcul nous prouve que c'est bien le cas. Avec une raison  $q$  ne valant plus 2, mais 3, on obtient :

$$n = E\left(\frac{\log(2) + \log(7,6 \cdot 10^9)}{\log(3)}\right) = 21. \text{ 21 étapes seraient alors nécessaires.}$$

Dans le cas général, un individu infecté transmet l'agent à  $q$  de ses contacts. Le nombre d'étapes nécessaires à la contamination de la population mondiale devient :

$$n = E\left(\frac{\log(q-1) + \log(7,6 \cdot 10^9)}{\log(q)}\right)$$

Le graphique suivant présente le nombre d'étapes  $n$  nécessaires en fonction de  $q$ .





**Le deuxième modèle** est un peu plus sophistiqué et présente l'avantage de pouvoir être assez facilement amélioré (et donc complexifié) par l'ajout de différents paramètres. Il se présente sous la forme d'un système d'équations différentielles dont la résolution numérique s'opère à l'aide de l'outil informatique.

Le problème a été étudié et mis en équation par William Ogilvy Kermack (1898 – 1970) et Anderson Gray McKendrick (1876 – 1943) dans une série de trois articles fondamentaux parus en 1927, 1932 et 1933.

Dans le modèle le plus simple, où les effets démographiques (naissances, morts, migrations) sont ignorés, ce système s'écrit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \end{array} \right.$$

$S(t)$  représente, à l'instant  $t$ , la fraction d'individus sains, encore non infectés... mais susceptibles de l'être.

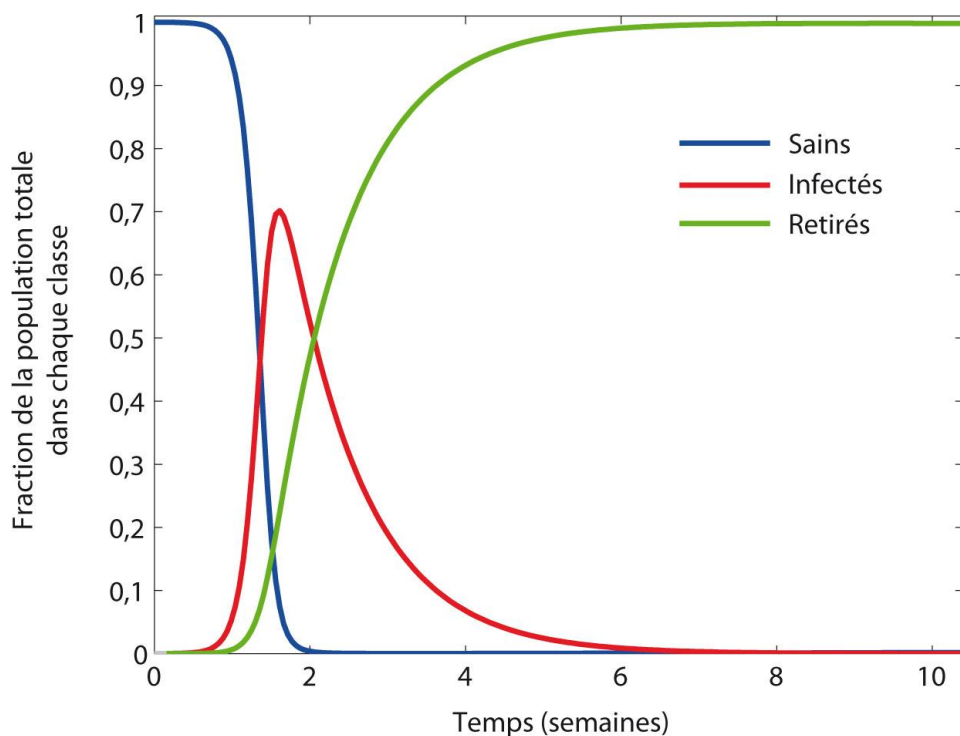
$I(t)$  représente, à l'instant  $t$ , la fraction d'individus infectés et capables de transmettre l'agent infectieux aux membres du groupe  $S(t)$ .

$R(t)$  représente, à l'instant  $t$ , la fraction d'individus retirés de la chaîne de transmission parce que (au choix) :

- ils possèdent une immunité innée face à la maladie, qui provient d'anticorps maternels transmis via le placenta ;
- après avoir été infectés, ils ont guéri, ont acquis une immunité et ne peuvent plus être infectés ;
- après avoir été infectés, ils ont été placés en quarantaine ;
- ... ils sont morts.

La première équation décrit le phénomène de contamination. Le paramètre  $\beta$  contient des informations à la fois sur le taux de contacts entre individus et sur la probabilité de transmission de l'agent infectieux.

La deuxième équation décrit la variation du nombre d'infectés au cours du temps. En fonction de la situation, le paramètre  $\gamma$  est appelé taux de guérison, taux de retrait ou taux de mortalité. Son inverse ( $1/\gamma$ ) détermine la période moyenne d'infection, quelle que soit son issue. En page suivante, on présente un exemple de progression d'épidémie générée à l'aide de ces trois équations, avec  $S(0) = 1$ ,  $\beta = 520 \text{ an}^{-1}$  et  $1/\gamma = 7$  jours.



En dépit de sa simplicité, ce modèle permet de mettre en évidence deux principes épidémiologiques fondamentaux : 1) l'effet de seuil et 2) la façon dont s'estompe une épidémie.

1) Réécrivons tout d'abord la deuxième équation sous la forme  $\frac{dI(t)}{dt} = (\beta S(t) - \gamma)I(t)$ .

Si la fraction initiale  $S(0)$  d'individus susceptibles d'être infectés est plus petite que  $\frac{\gamma}{\beta}$  alors

$\frac{dI(t)}{dt} < 0$  : l'épidémie s'estompe. **Aussi, pour que la maladie se propage sous forme d'épidémie, la proportion d'individus susceptibles d'être infectés doit dépasser un certain seuil.**

La quantité  $\frac{\beta}{\gamma}$  est appelée taux de reproduction. On le note  $R_0$ . Il représente le nombre moyen de cas secondaires générés par un individu durant la période où il est infectieux. Si, dans une population entièrement susceptible d'être infectée ( $S(0) = 1$ ),  $R_0 < 1$  alors le nombre de cas diminue à chaque génération et la chaîne de transmission finit par s'interrompre. Au contraire, si  $R_0 > 1$ , une épidémie se développe.

Maladie	Hôte	R <sub>0</sub> estimé
Rage	Chien	2,5
Grippe	Être humain	3 – 4
Variole	Être humain	3,5 – 6
Rubéole	Être humain	6 – 7
Varicelle	Être humain	10 – 12
Rougeole	Être humain	16 – 18
Coqueluche	Être humain	16 – 18

Quelques exemples de taux de reproduction R<sub>0</sub>.

2) Comment l'épidémie évolue-t-elle à long terme ? Divisons la première équation par la troisième. Il vient  $\frac{dS(t)}{dR(t)} = -\frac{\beta S(t)}{\gamma} = -R_0 S(t)$ . En supposant  $R(0) = 0$ , on obtient après intégration  $S(t) = S(0)e^{-R_0 R(t)}$ . Ainsi, alors que l'épidémie se développe, la proportion d'individus susceptibles d'être infectés diminue... mais reste supérieure à  $e^{-R_0}$ . Certains arriveront toujours à échapper à la contagion ! **La chaîne de transmission finit donc par se briser, non pas à cause du vidage complet du compartiment contenant les individus susceptibles d'être infectés, mais plutôt à cause de la régression du nombre d'individus infectés.** Il s'agit de la deuxième leçon, plutôt contre-intuitive, à tirer de notre modèle.

Proposer une description plus précise de la réalité nécessite l'introduction de nouveaux paramètres dans le système d'équations différentielles, qui peuvent être, parmi d'autres :

- une immunité de durée limitée (c'est le cas de la grippe) ;
- la vaccination ;
- la prise en compte des taux de natalité et de mortalité au sein d'une population ;
- les déplacements de population ;
- la période de latence entre le moment l'individu est soumis à un agent pathogène et celui où il pourra transmettre la maladie ;
- Le fait que certains porteurs de la maladie n'en expriment pas les symptômes (voir le cas célèbre de Mary Mallon (1869 – 1938) dite *Mary Typhoïde*, première porteuse saine reconnue du bacille de la typhoïde, qui infecta 51 personnes).

### III.5 Thème : la vaccination

Des années 1880 jusqu'à la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la poliomyélite sévit dans le monde entier sur un mode épidémique ; elle handicape ou tue plusieurs millions de personnes. En 1988, l'Organisation mondiale de la santé, l'UNICEF et la Fondation Rotary décident d'entreprendre des efforts conséquents pour l'éradiquer. Deux vaccins antipoliomyélitiques sont alors disponibles : l'un inactivé administré par injection sous-cutanée ou intramusculaire et commercialisé pour la première fois en 1955, l'autre vivant atténué, administré par voie orale et commercialisé depuis 1961. Le résultat est sans appel : de 350 000 cas estimés en 1988, on est passé à... 37 en 2016.

La vaccination a permis d'éradiquer la variole en 1980 (de même que la peste bovine en 2011) et de faire baisser spectaculairement les incapacités et la mortalité dues à la diphtérie, au tétanos, à la coqueluche et à la rougeole.

#### Comment la vaccination fonctionne-t-elle ?

Lorsqu'un **agent infectieux** (virus ou bactérie) pénètre dans l'organisme, celui-ci le reconnaît comme agresseur étranger et déclenche des signaux de danger qui vont mettre en action ses mécanismes de défense. L'ensemble de cette réaction est appelé la **réponse immunitaire**. D'une manière imagée, elle est parfois décrite comme une bataille entre un agresseur, l'agent infectieux, et une armée personnelle, le **système immunitaire**.

Le système immunitaire est composé des cellules immunitaires aussi appelées **globules blancs**, qui, comme une armée, sont divisés en sous-populations pouvant s'apparenter à des régiments spéciaux, dont chacun possédant une expertise propre et un rôle déterminé. Par exemple, les lymphocytes B produisent des protéines appelées anticorps, qui correspondent exactement à l'agent infectieux et vont neutraliser celui-ci. Les lymphocytes T, eux, tuent les cellules de l'organisme déjà infectées, ce qui permet de limiter la propagation de l'agent infectieux. Cependant, pour qu'elle soit vraiment efficace et adaptée, la mise en place de cette réponse immunitaire et la préparation des armées nécessitent du temps, pendant lequel l'agent infectieux se multiplie et développe ses effets nocifs entraînant la maladie.

Lorsque la réponse immunitaire est efficace, elle parvient à détruire l'agent infectieux, libérant l'organisme de son agresseur. Le sujet est alors guéri. Son système immunitaire est à nouveau au repos mais conserve la mémoire de son agresseur et les armes qui ont servi à son élimination. Si le même microbe pénètre à nouveau dans l'organisme, il sera alors immédiatement reconnu et anéanti avant toute possibilité pour lui de se développer. Ceci explique pourquoi on n'attrape pas deux fois certaines maladies comme la rougeole par exemple.

La vaccination consiste à introduire dans l'organisme un composant inoffensif, qui est reconnu par l'organisme de la même façon que l'agent infectieux car il lui ressemble et déclenche ainsi la mise en place des mêmes mécanismes de défense. En d'autres termes, le principe de la vaccination consiste à reproduire les mécanismes de préparation des armes protégeant contre l'agent infectieux, sans passer par la maladie. Historiquement, les premiers vaccins étaient constitués d'agents infectieux inactivés, comme celui contre la rage, ou atténués, comme le BCG. De nos jours, les progrès scientifiques tendent vers le développement de vaccins de synthèse, qui contiennent uniquement certains composants de l'agent infectieux, parfois améliorés pour en augmenter l'efficacité et l'innocuité.

Si le principe de la vaccination décrit en 1796 reste vrai aujourd'hui, c'est qu'il découle de l'observation d'un phénomène biologique naturel, essentiel au maintien de l'espèce dans son environnement.

À l'heure où la proportion de personnes opposées aux vaccinations tend à croître (tout en restant marginale), où le public s'interroge et où la désinformation bat son plein sur internet et les réseaux sociaux, il est bon de conserver à l'esprit l'état des lieux non exhaustif présenté en introduction. L'opposition repose essentiellement sur la crainte d'effets indésirables, comme des liens supposés et non avérés entre vaccins, autisme, sclérose en plaques et myofasciites à macrophages.

En France, c'est le Haut Conseil de la santé publique (et, plus précisément, l'une de ses composantes, le Comité technique des vaccinations), qui est chargé de donner un avis sur le calendrier vaccinal, mis à jour chaque année. Ce dernier est établi par le ministère de la Santé et publié dans un des bulletins épidémiologiques hebdomadaires de l'Institut de veille sanitaire (InVS) diffusés sur le site. Rappelons que 11 vaccins deviennent obligatoires à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018. Ils sont déjà recommandés et réalisés pour la majorité des enfants : DTP (diphtérie – tétanos – polio, seuls obligatoires actuellement), Hib (méningites à *Haemophilus*), coqueluche, hépatite B, pneumocoque, méningocoque C, ROR (rougeole, oreillons, rubéole).

L'Académie nationale de médecine et l'Académie nationale de pharmacie, soutenues par l'Académie des sciences, « se sont engagées depuis de nombreuses années en faveur des vaccinations, pratiques contestées par certains courants d'opinion, et dont l'efficacité et la sécurité ont été scientifiquement établies » (communiqué de presse de l'Académie nationale de médecine et de l'Académie nationale de Pharmacie du 14 novembre 2017).

Vous trouverez de très nombreuses ressources sur leurs sites internet respectifs, en tapant, par exemple, le mot « vaccination » dans leur moteur de recherche intégré.

<http://www.academie-sciences.fr>

<http://www.academie-medecine.fr>

<http://www.acadpharm.org>

## III.6 Glossaire

**Archée** : organisme unicellulaire procaryote (cellule sans noyau) qui constitue l'un des trois grands domaines du vivant. Bien que ressemblant fortement aux bactéries, auxquelles elles ont été un temps associées, les archées s'en distinguent par certains caractères génétiques et biochimiques, par exemple des différences dans la composition de leur membrane.

**Agent infectieux** : agent biologique (bactérie, levure, moisissure, ver, virus, etc.) responsable de maladies infectieuses.

**Bactérie** : micro-organisme unicellulaire dépourvu de noyau (procaryote). La taille des bactéries est généralement comprise entre 0,5  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$ . Elles peuvent être rondes, hélicoïdales, spiralées, en forme de bâtonnets ou encore de virgules. Si certaines peuvent rendre malade, comme celles responsables de la peste ou du choléra, la très grande majorité des bactéries est inoffensive pour l'homme. D'autres, à l'image de celles composant notre microbiote intestinal, nous sont même bénéfiques. Les bactéries sont capables de s'adapter à des milieux très hostiles. On a trouvé des bactéries vivant à des températures supérieures à 100 °C et inférieures à 0 °C, des pressions exceptionnelles, dans des milieux très chargés en sel, des milieux très acides ou très basiques, des milieux radioactifs, privés de dioxygène ou non-éclairés.

**Contamination biologique** : elle indique la présence d'un élément biologique indésirable dans un produit ou dans l'environnement du produit (eau, air, surface). Les contaminants biologiques peuvent être des micro-organismes mais également les toxines que certains d'entre eux synthétisent. La contamination biologique peut avoir des conséquences importantes sur le plan économique et sur le plan de la santé humaine.

**Épidémie** : en médecine, l'épidémie désigne une augmentation inhabituelle du nombre d'individus atteints d'une maladie transmissible existant en permanence ou à l'état latent dans une région ou une population donnée. On utilise désormais ce terme pour d'autres phénomènes que les maladies infectieuses, par exemple pour caractériser le développement rapide de l'obésité sur la planète.

**Immunité** : c'est le fait de posséder les bonnes défenses biologiques pour combattre l'infection et la maladie tout en ayant une tolérance suffisante pour éviter l'allergie et la maladie auto-immune.

**Levure** : le terme levure est aujourd'hui utilisé pour désigner certains micro-organismes capables de provoquer la fermentation de matières organiques. C'est un nom générique qui ne correspond à aucune dénomination scientifique actuelle. Les levures sont en fait des champignons (*fungi*, ou *mycètes*) unicellulaires eucaryotes (cellule avec noyau). De forme ovoïde ou sphérique, elles mesurent entre 5 et 30 micromètres de long.

**Modèle épidémiologique** : outil mathématique développé pour étudier les mécanismes par lesquels se propagent les maladies, prédire la propagation des épidémies et évaluer l'efficacité des stratégies de lutte contre elles.

**Pandémie** : ce terme est construit à partir du grec ancien πᾶν / *pán* « tous », et δῆμος / *dêmos* « peuple ». Il désigne une épidémie qui s'étend à la quasi-totalité d'une population ou qui possède une répartition géographique très large. Parmi les pandémies historiques bien documentées, citons la peste noire, qui tua près de 50 % de la population européenne entre 1347 et 1352 du fait de la croissance des villes et de l'augmentation du commerce permettant à la maladie de se propager depuis l'Asie jusqu'à l'Afrique et l'Europe, la grippe espagnole de 1918-1919, qui ravagea la planète et fit environ 60 millions de victimes et la pandémie actuelle de sida.

**Protiste** : dans les anciennes classifications, le règne des protistes regroupait des organismes unicellulaires eucaryotes (cellule avec noyau) très différents. On y trouvait par exemple les amibes, les paramécies, les ciliés, des algues unicellulaires ainsi que certains micro-organismes parasites comme ceux responsables du paludisme ou de la maladie du sommeil. Dans la classification phylogénétique, le règne des protistes n'existe plus, car il ne regroupe pas l'ensemble des descendants d'un même ancêtre. Ces micro-organismes sont désormais rattachés à différents groupes (taxons) d'eucaryotes.

**Virus** : agent infectieux de petite taille – entre 10 et 400 nm, quoique les pandoravirus découverts en 2013 atteignent parfois 1 000 nm, soit 1 µm – qui nécessite impérativement un hôte dont il utilise le métabolisme et les constituants pour se répliquer. Les virus sont souvent considérés comme des entités à la frontière entre le vivant et l'inanimé. Lorsqu'ils sont en dehors des cellules qu'ils infectent, ils se présentent sous des formes nommées virions. Ils se composent alors d'un filament d'acide nucléique (ADN ou ARN) enfermé dans une coque protéique protectrice appelée capsid et dans certains cas, d'une enveloppe lipidique qui entoure la capsid. Il a fallu attendre l'arrivée du microscope électronique dans les années 1930 pour pouvoir observer, pour la première fois, des micro-organismes aussi petits.

## III.7 Idées d'activités pour la classe

### III.7.1 La filtration de l'eau et la recherche de bactéries (cycle 3)

Cette activité provient du site internet de la Fondation La Main à la pâte et a pour auteur Patrick Bouchareine. Vous pouvez le retrouver dans sa version originale ici : <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/11032/la-filtration-de-leau-et-la-recherche-de-bacteries>

Les élèves cherchent à rendre propre de l'eau sale puis cherchent à savoir si cette eau est potable. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de cycle 3 "générer des comportements responsables".

#### Durée

1<sup>er</sup> problème : 3 séances

2<sup>e</sup> problème : 10 minutes d'observations quotidiennes pendant 5 à 6 jours, entre 2 séances.

#### Matériel

- bouteilles en plastique coupées au  $\frac{3}{4}$ , la partie avec le goulot est retournée sur la base
- passoires
- filtres à café
- sable
- gravier
- coton
- chinois
- papier essuie-tout
- charbon de bois
- tubes de culture (gélose) fournis par un laboratoire d'analyses ou à préparer chez vous. La gélose est une substance nutritive favorisant ou inhibant la prolifération et le développement des bactéries.

#### Situation déclenchante

En classe, un texte accompagné de croquis sur le pompage de l'eau d'une rivière et d'une nappe phréatique a été étudié. Les élèves ont également regardé des photos de fleuves pollués par des déchets ou ont observé l'état d'un cours d'eau près de chez eux ou de l'école. Des questions sont alors posées :

- peut-on boire de l'eau claire, transparente ?
- Comment être sûr qu'une eau est potable ?
- D'où vient la pollution de l'eau ?
- Comment l'éviter ?
- Pourquoi l'eau des nappes souterraines est-elle claire ?



Les élèves proposent un certain nombre de réponses : « n peut boire une eau quand elle est claire ». D'autres ajoutent « si elle ne sent pas mauvais ». Certains pensent que pour être sûr de la boire il faut ajouter de l'eau de javel.

« Les péniches polluent le cours d'eau, les gens y jettent trop de déchets ». « Une eau n'est pas bonne à boire si les poissons meurent, une eau est sale quand il y a de la boue ». « L'eau d'une nappe souterraine est claire quand elle passe par une couche de sable », etc.

Il est alors décidé de résoudre deux problèmes.

- Comment transformer une eau boueuse, trouble, sale, avec des déchets, en une eau propre, limpide ?
- Pouvons-nous boire cette eau, est-elle potable ?

## 1<sup>er</sup> problème : transformer une eau sale en eau propre

### Hypothèse

Il faut filtrer l'eau avec différentes matières qui retiendront les impuretés.

### Expériences proposées par les élèves

- Les élèves proposent de réaliser des filtres en posant différentes matières dans des bouteilles en plastique découpées.
- Dans un premier temps, ils proposent de filtrer l'eau une seule fois (regarder ce qui se passe pour chaque filtre) et ne pensent pas forcément à utiliser les différents filtres en complément les uns des autres.
- Certains ont pensé qu'il fallait laisser reposer l'eau pour que les matières tombent au fond du récipient.

### Préparation des expériences (1 séance)

- Récupérer, avec les élèves, de l'eau d'un canal ou d'un quelconque cours d'eau, boueuse et pleine d'impuretés. La verser dans des bassines et la laisser reposer.
- Les élèves cherchent individuellement, à l'aide de documents sur la filtration, des idées de filtres à réaliser. Puis ils discutent en groupes de la pertinence de leurs choix.
- Ils notent alors le matériel nécessaire.

### Expériences réalisées par les élèves

- Les élèves constatent que des impuretés se sont déposées au fond mais que l'eau reste encore trouble et ne sent pas bon. Cette eau laissée au repos toute une nuit constitue une première étape.
- Des matières plus légères flottent sur l'eau et certains se servent de passoirs pour les enlever.
- Ils essaient de récupérer l'eau sans trop bouger les bassines afin de laisser les particules au fond.
- Ils filtrent cette eau avec une passoire, un filtre à café, du sable, du gravier, du coton, un chinois, du papier essuie-tout.

### **Analyse des résultats, conclusion**

- Confrontation des résultats : l'eau obtenue après filtration est très différente d'un filtre à un autre. Les élèves se rendent compte de la nécessité de filtrer l'eau plusieurs fois en utilisant les différents filtres.
- Discussion sur les problèmes rencontrés et l'efficacité des filtres. Certains ont dû laver le sable avant et après filtration : « il faut le mettre dans un filtre à café ou le chinois sinon il passe à travers la bouteille avec l'eau ».  
« Le gravier est à employer en début d'opération, il doit être propre ».  
« Il faut utiliser des filtres de plus en plus fins afin de filtrer les plus petites particules ». Pour beaucoup, l'eau est devenue limpide mais une mauvaise odeur persiste. Des élèves se souviennent avoir lu, lors de la recherche documentaire, qu'on pouvait utiliser du charbon. L'expérience est alors réalisée, l'odeur disparaît.
- Conclusion : on peut rendre propre une eau sale en la filtrant à l'aide de différents matériaux qui retiennent les impuretés. Remarque : La question de savoir si elle est potable reste posée...

## **2<sup>e</sup> problème : savoir si l'eau est potable**

### **Discussion**

Qu'est-ce qu'une eau potable ? Les élèves ne sont pas tous du même avis. Ils ne font pas tous la différence entre eau propre (claire, limpide, qui ne sent pas) et potable (que l'on peut boire sans tomber malade). Il est donc nécessaire de bien préciser ces deux termes.

### **Hypothèses faites par les élèves**

- Pour certains l'eau filtrée obtenue précédemment est potable. Ils proposent de l'envoyer à un laboratoire pour qu'ils vérifient qu'elle ne contient pas de microbes.
- Pour d'autres, elle n'est pas potable mais contient des microbes. Pour s'en débarrasser, ils proposent d'ajouter du chlore ou de faire bouillir l'eau.

### **Expériences proposées**

- L'enseignant propose alors aux élèves de rechercher en classe si l'eau contient des microbes. Il leur présente des tubes contenant un milieu de culture (gélose) et leur demande s'ils en connaissent l'utilité. Certains pensent que si on dépose de l'eau sur la gélose et qu'elle contient des microbes alors ils se développeront. Donc si l'eau n'est pas potable, on le verra.

### Expériences réalisées par les élèves

Les élèves par groupe de quatre réfléchissent aux expériences à réaliser. Puis ils confrontent leurs idées en classe entière et proposent, afin d'établir des comparaisons, de réaliser les cultures suivantes :

- une culture de l'eau « sale » du cours d'eau ;
- une culture de la même eau rendue propre par filtration ;
- une culture de l'eau rendue propre, plus de l'eau de javel ;
- une culture de l'eau rendue propre puis bouillie ;
- une culture avec de l'eau du robinet.

### Analyse des résultats, conclusion

- Pendant cinq à six jours, observation quotidienne des tubes qui sont placés au-dessus du radiateur de la classe (apporter un appareil qui chauffera en continu si vous ne faites pas ces séances en hiver). Prise de notes et dessins.
- Comparaison des résultats avec les anticipations des enfants avant les expériences.
- Synthèse sur le cahier après formulations des résultats par les élèves (les résultats obtenus n'ont pas été transmis par l'enseignant).
- Conclusion : une eau claire et transparente sans odeur n'est pas forcément potable. Il peut y avoir des germes, des virus et des bactéries nuisibles pour la santé.

### Prolongements

Découverte du fonctionnement d'une station de traitement des eaux qui permettra aux enfants de retrouver une application à leurs recherches.

Recherche sur l'origine des pollutions et leurs conséquences. Puis travail sur l'eau du robinet. Est-elle de bonne qualité (nitrates) ? Comment la protéger ? Les pays de sécheresse.



### III.7.2 De main en main (cycle 3 et cycle 4)

Avec cette activité, vos élèves comprendront combien leurs mains sont des véhicules efficaces de contamination. D'ailleurs, Pasteur refusait, paraît-il, de serrer les mains et exaspérait sa femme en nettoyant systématiquement son verre, son assiette et ses couverts !

#### Matériel nécessaire

- De la levure de boulanger diluée dans un verre d'eau.
- Un grand bol contenant de l'eau sucrée.
- Un tube à essai et son bouchon.
- Un entonnoir.
- Du coton.
- Quelques gouttes de bleu de bromothymol (un colorant utilisé comme indicateur coloré de pH).



#### Procédure

- . Demandez aux élèves de bien se laver les mains et divisez la classe en groupes de cinq.
- . Dans chaque groupe, le premier élève se met un peu de levure dans la main droite. Il salue alors un deuxième élève en lui prodiguant une poignée de mains. Celui-ci, à son tour, serre la main d'un troisième élève, qui serre la main d'un quatrième qui, enfin, salue le cinquième et dernier élève de son groupe.
- . Notre cinquième élève se lave les mains dans le grand bol d'eau sucrée.

- . À l'aide de l'entonnoir, versez un peu de cette eau sucrée dans le tube à essai.
- . Imbibez le coton avec le bleu de bromothymol, glissez-le dans le tube à essai sans qu'il ne touche l'eau et fermez ce dernier à l'aide du bouchon.

- . Attendez quelques jours...

→ La couleur du bleu de bromothymol a évolué. De bleu, il est devenu jaune, signe que le milieu est devenu acide.

#### Explication

Par le jeu des salutations entre élèves, de nombreuses levures sont parvenues sur les mains du cinquième élève de chaque groupe. Or, l'eau sucrée avec laquelle il se les est lavées constitue un milieu très favorable au développement de ces petits champignons unicellulaires de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Ils ont alors dégradé le sucre et conduit à la formation et au dégagement de dioxyde de carbone, qui a acidifié le milieu.

### III.7.3 De la vie dans la salive et la sueur ? (cycle 3 et cycle 4)

Qu'est-ce qui rend les pieds et les aisselles malodorants lorsque nous transpirons ? Pourquoi devons-nous éviter de porter à la bouche les couverts destinés à servir les plats ? Dans cette expérience, vous pourrez mettre en évidence les bactéries et les champignons qui vivent en nous grâce à de la gélatine servant de milieu de culture.

#### Matériel nécessaire

- Des bocaux en verre bien lavés avec leur couvercle ;
- Une casserole ;
- De l'eau ;
- Des feuilles de gélatine du commerce ;
- Du sucre ;
- Des cotons-tiges.



#### Procédure

- . Faites bouillir 1 L d'eau.
- . Videz cette eau dans les bocaux en verre en prenant soin de ne pas toucher ces derniers, ni leur couvercle.
- . Pendant que l'eau refroidit dans les bocaux, utilisez ce qui reste d'eau (environ un demi-litre) pour imbiber puis dissoudre les feuilles de gélatine. Ajoutez deux cuillères à soupe de sucre.
- . Une fois la gélatine refroidie, versez-la dans chacun des trois bocaux. Refermez-les et placez-les au réfrigérateur jusqu'à ce que la gélatine soit solide.
- . Retirez les bocaux du réfrigérateur. Sur le premier, écrivez « Témoin ». Sur le deuxième, « Salive » et sur le troisième et dernier, « Sueur ».
- . Frottez l'extrémité d'un coton-tige sur l'intérieur de la joue d'un volontaire. Frottez-la ensuite à la surface de la gélatine contenue dans le bocal marqué « Salive ».
- . Passez un autre coton-tige entre les orteils d'un deuxième volontaire, de préférence après un effort physique. Frottez son extrémité sur la gélatine contenue dans le bocal « Sueur ».
- . Frottez enfin un troisième coton-tige, propre, à la surface de la gélatine du bocal « Témoin ».
- . Laissez les trois bocaux dans un endroit frais, à l'abri des rayons du Soleil.
- . Attendez 2 à 3 jours et observez.

#### Questions

- Que vous attendez-vous à voir apparaître dans chacun des bocaux ?
- Pourquoi utiliser un bocal témoin ?
- D'où provient donc la mauvaise odeur lorsque nous transpirons ?

### III.7.4 La vaccination (cycle 3, cycle 4 et lycée)

Cette activité peut prendre la forme d'un débat comme on en voit sur les plateaux télévisés, où les intervenants discutent des bienfaits et des inconvénients de la vaccination. Après une recherche sur ce sujet, l'enseignant divise sa classe en deux et pendant 45 minutes, anime et modère le débat.

Parmi les questions à discuter, on pourra retenir :

- comment les vaccins agissent-ils ?
- sont-ils sûrs ?
- induisent-ils des effets secondaires ?
- des organismes aussi fragiles que les nouveau-nés sont-ils prêts à recevoir de nombreux vaccins ?
- est-on protégé de la maladie dès que la vaccination est effectuée ?
- qui élabore la politique vaccinale en France ?

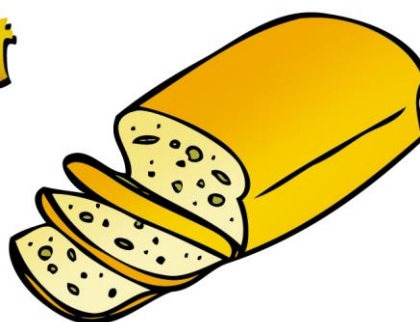


À la fin du débat, les groupes devraient être en mesure de tirer des conclusions sur le sujet.

### III.7.5 Du pain et des bulles (pour le cycle 4)

**Cette activité provient du site internet de la Fondation La Main à la pâte** et a pour auteurs Adeline André, Alain Chomat, Michel Lardé et Béatrice Salviat. Vous pouvez le retrouver dans sa version originale ici : <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/15715/du-pain-et-des-bulles>

**Du pain et  
des bulles...**



Les élèves sont amenés à comparer un pain dont la mie est aérée et un pain dont la mie ne l'est pas.

Un parent d'élève adore faire du pain chez lui. L'encadré en page suivante donne sa recette.

**Ingrédients** : 100 g de farine de blé, 5 g de levure de boulanger, 100 mL d'eau tiède et une pincée de sel.

La fabrication du pain s'effectue en 3 phases.

**Première phase : le pétrissage**

On verse dans un saladier 100 g de farine de blé.

On rajoute 5 g de levure de boulanger, 100 mL d'eau tiède et une pincée de sel.

On forme une boule de pâte que l'on pétrit activement en ajoutant un peu de farine supplémentaire si nécessaire, c'est-à-dire si la pâte est trop collante.

**Deuxième phase : le repos de la pâte (phase de fermentation)**

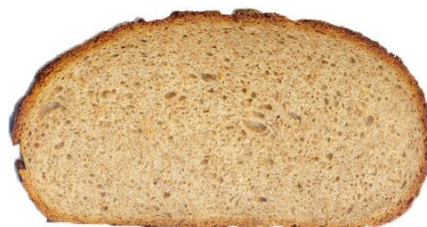
On place la boule de pâte sur du papier sulfurisé dans un petit récipient.

On place le tout recouvert d'un linge propre à une température comprise entre 20 et 30 °C pendant 40 minutes environ.

**Troisième phase : la cuisson**

La cuisson s'effectue dans un four chauffé à 240 °C pendant 20 minutes.

Le pain qu'il obtient possède une mie bien aérée (image de gauche). Son fils, bien imprudemment, a tenté d'obtenir le même résultat, mais il a obtenu un pain à main beaucoup trop serrée (image de droite).



Suite à la présentation de cette situation, les élèves sont incités à donner leur avis et à poser des questions en rapport avec les observations. Le fils aurait-il oublié un ingrédient ou une étape dans la recette ? Il convient alors de tester de manière expérimentale l'effet de l'absence de facteurs comme l'oubli de la levure, du sel, du pétrissage, de la période de repos... sur la fabrication du pain.

Si l'enseignant indique qu'il y avait dans les placards de la cuisine un paquet de farine de maïs, les élèves pourront proposer que l'enfant se soit trompé de farine. Ils testeront alors l'utilisation de la farine de maïs. A l'issue de ces expériences, les élèves concluront, entre autre, que la levure produit un gaz qui fait gonfler la pâte à pain. Ils pourront alors questionner la composition de ce gaz ; l'enseignant devra proposer des techniques permettant de tester la présence de certains gaz (comme le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>). Ayant senti une odeur d'alcool lors de la formation du pain, les élèves peuvent proposer que le gaz en contient.

Les situations s'enchaînent les unes aux autres dans un jeu de questions-réponses dynamique. La suite du document détaille des propositions d'hypothèses et d'activités associées d'une manière linéaire ; elles devront être réorganisées en fonction des propositions des élèves.

#### Exemples d'hypothèses pouvant être proposées par des élèves au début du travail :

Hypothèse 1 : l'enfant a oublié de mettre de la levure dans sa pâte à pain.

Hypothèse 2 : il a oublié de mettre du sel dans sa pâte à pain.

Hypothèse 3 : il n'a pas pétri sa pâte à pain ; or, en pétrissant, on enferme de l'air dans la pâte.

Hypothèse 4 : il a laissé reposer sa pâte à une température trop basse.

Hypothèse 5 : il a utilisé de la farine de maïs au lieu de la farine de blé.

#### Exemples d'hypothèses qui peuvent être proposées par des élèves dans un 2<sup>e</sup> temps :

Hypothèse 6 : le gaz produit par les levures contient du CO<sub>2</sub>.

Hypothèse 7 : le gaz produit par les levures contient de l'alcool.

### **Stratégie d'organisation**

Ce module peut se diviser en deux temps :

- 1) mise en évidence du facteur responsable du gonflement de la pâte à pain et donc des trous dans la mie de pain ;
- 2) étude de la composition du gaz produit par la levure.

### **Stratégie de démarche**

#### **→ à propos des expériences**

Par des échanges entre les élèves, vous devez les amener à comprendre que, pour tester correctement différents paramètres, il est fondamental de n'en faire varier qu'un seul à la fois et de se référer à une expérience témoin.

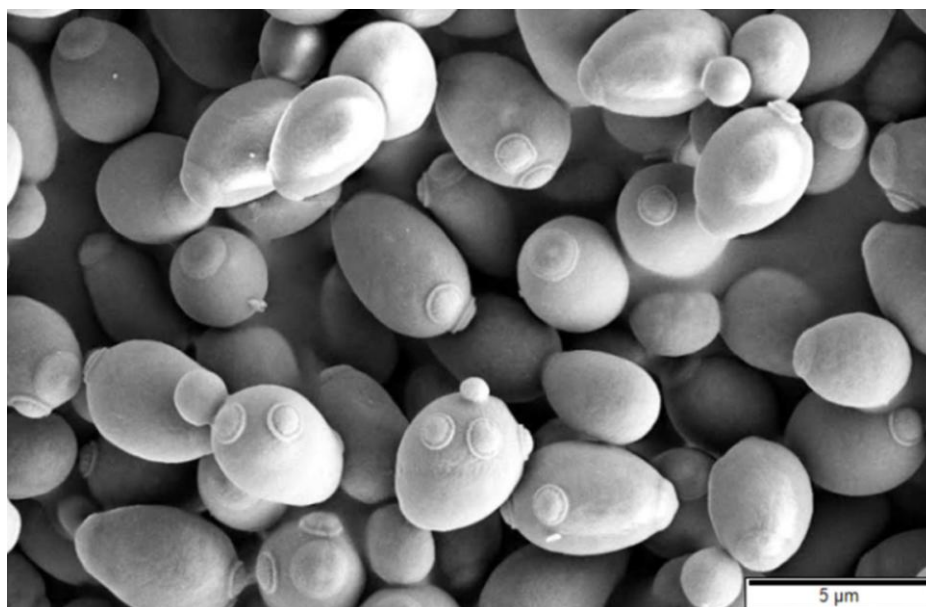
#### **→ à propos de l'organisation des groupes d'élèves**

Soit toute la classe teste la même hypothèse, soit plusieurs hypothèses différentes sont testées simultanément par différents groupes qui, ensuite, exposeront à la classe leurs résultats. Chaque groupe d'élèves peut alors proposer par écrit un protocole expérimental (avec la liste du matériel nécessaire) et doit expliciter les résultats attendus si l'hypothèse est validée. Rappelons qu'un résultat négatif n'est pas un échec en soi. Le fait de réfuter une hypothèse fait avancer la connaissance. Il ne faut pas être déçu si les résultats obtenus diffèrent des résultats attendus.



### → à propos du contenu scientifique

Dans la fabrication du pain, une étape consiste à laisser reposer la pâte. La présentation de cette étape peut se faire 1) sans se préoccuper du processus chimique qui se déroule alors ; ou bien 2) en indiquant qu'un ensemble de réactions chimiques appelé *fermentation* a lieu.



*Saccharomyces cerevisiae*, la « levure du boulanger ».

Crédit : Mogana Das Murtey (Universiti Sains Malaysia, Malaisie) et Patchamuthu Ramasamy (Quest International University Perak, Malaisie).

### Pour tester les hypothèses

Le tableau ci-dessous met en relation les hypothèses proposées et des activités possibles permettant de les tester (que ce soit pour les valider ou pour les réfuter).

Hypothèse	Paramètre testé	Activité proposée	Commentaires
H1	Levure	A	Pâte avec et sans levure
H2	Sel	B	Pâte avec et sans sel
H3	Pétrissage	C	Pâte pétrie et non pétrie
H4	Température de repos	D	Température de repos variable
H5	Nature de la farine	E	Farine de blé et farine de maïs
H6	Composition du gaz	F	Test de la présence de CO <sub>2</sub>
H7	Composition du gaz	G	Test de la présence d'alcool

## **Activité A : effet de la levure**

Cette activité permet de tester l'effet de la levure sur la fabrication du pain ; on compare donc un pain fabriqué avec de la levure (expérience témoin) et un pain fabriqué sans.

### **Matériel nécessaire** (pour un groupe)

- 200 g de farine de blé
- 1 saladier
- 2 morceaux de papier sulfurisé
- 2 linges propres
- 1 récipient type bécher ou verre
- 1 éprouvette graduée et/ou 1 verre mesureur
- 1 balance (pour la levure fraîche de boulanger)

### **Eléments de protocole expérimental**

Expérience témoin : pain réalisé selon la recette proposée

Expérience : pain réalisé sans levure mais en suivant le reste de la recette proposée

### **Observations**

Les élèves vont constater un certain nombre de phénomènes. Il faut donc prévoir qu'ils puissent noter leurs observations sur un cahier d'expérience.

**Avant la cuisson** : après la phase de repos, le volume de la pâte avec levure est beaucoup plus important et une odeur s'en dégage. La pâte semble plus aérée : des bulles ont été produites lors de la phase de repos. Cette constatation peut être suivie d'un débat sur ce constat (activités F et G sur la composition du gaz). On dit que la pâte a levé.



À gauche, l'expérience sans levure. A droite, avec levure.

**Après la cuisson** : les élèves constatent des « trous » en grand nombre dans la mie de pain avec levure et leur absence dans le pain sans levure.

### **Conclusion**

La levure produit, lors de la phase de repos, un gaz qui fait gonfler la pâte à pain et qui est responsable de la présence des trous dans la mie de pain.

### **Prolongements possibles**

Quel est le gaz produit par la levure lors de la phase de repos (activités F et G).

### **Activité B : effet du sel**

Dans cette activité, on envisage l'effet du sel sur la fabrication du pain. Les élèves comparent une pâte à pain classique et une pâte à pain sans sel lors des différentes phases de fabrication.

### **Observation**

Les deux pâtes à pain semblent avoir gonflé de manière identique.

### **Conclusion**

Le sel n'influence pas la présence de trous dans la mie de pain. Par contre, il influence fortement le goût du pain produit.

### **Activité C : effet du pétrissage**

Cette activité permet de tester l'influence du pétrissage lors de la formation de la pâte à pain. Une pâte pétrie et une pâte non pétrie sont confectionnées comme indiqué dans la recette.

### **Observation**

Le mélange qui n'a pas été pétri ne gonfle pas... ou beaucoup moins.

### **Conclusion**

Le pétrissage est nécessaire au gonflement de la pâte à pain et donc à la présence de trous dans la mie.

Remarque : si les élèves ont proposé que le pétrissage permettait d'emprisonner de l'air dans la pâte, la comparaison qualitative et visuelle des volumes avant et après pétrissage permet de réfuter cette proposition. On peut toutefois prolonger par les activités F et G portant sur la composition du gaz produit.

### **Activité D : effet de la température de repos**

L'activité D permet de tester l'influence de la température lors de la phase de repos de la pâte à pain. Deux boules de pâte à pain sont confectionnées comme indiqué dans la recette. Pour la phase de repos, une boule de pâte est placée au réfrigérateur et une autre près d'une source de chaleur (exemple : radiateur).

#### **Observations**

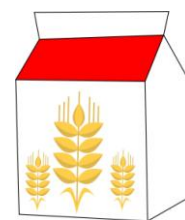
La pâte à pain placée près d'une source de chaleur a bien gonflé. La pâte à pain placée au réfrigérateur n'a pas gonflé.

#### **Conclusion**

Le facteur température influence le gonflement de la pâte à pain. Celui-ci est plus important si le repos se fait à une température entre 20 et 30 °C et beaucoup plus limité si le repos se fait à 4 °C.

### **Activité E : effet de la nature de la farine**

Dans l'activité E, on réalise deux pains en utilisant la recette de base proposée dans ce module : un premier avec de la farine de blé et un second avec de la farine de maïs.



#### **Observations**

On observe qu'avec la farine de maïs, la pâte lève très mal (pas de consistance), que les bulles ont tendance à crever en surface et à laisser échapper le gaz. La farine de blé donne à la pâte une cohérence plus grande.

#### **Comment expliquer ces observations ?**

On compare les éléments présents (composition sur les emballages) dans la farine de blé et dans la farine de maïs.

Voici la composition « type » de la farine de blé et de la farine de maïs. Certains composants présents en quantités négligeables (sucre, matières minérales et traces de cellulose) ont été volontairement écartés.

Composition de la farine de blé (type 55)	Composition de la farine de maïs
Amidon (68 à 72 %)	Amidon (88 %)
Gluten (10 à 12 %)	
Matières grasses (1,2 à 1,4 %)	Matières grasses (0,3 %)
Eau (12 à 19 %)	Eau (11,7 %)

On constate que la farine de maïs est une farine sans gluten. On peut alors émettre l'hypothèse que le gluten joue un rôle prépondérant dans la levée de la pâte à pain et la présence de trous dans la mie. Quelle expérience permettrait de tester l'effet du gluten ? Deux idées peuvent être avancées :

- comparer des pâtes à pain fabriquées avec de la farine de blé naturelle avec gluten et de la farine de blé modifiée sans gluten ;
- comparer des pâtes à pain fabriquées avec de la farine de maïs naturelle sans gluten et de la farine de maïs modifiée avec gluten.

**Conclusion :** La présence de gluten est indispensable pour la levée de la pâte. Un gaz est produit mais ne peut être emprisonné. Elle conditionne donc la présence de trous dans la mie de pain.

### **Activité F : le gaz produit par la levure contient du CO<sub>2</sub>**

L'activité F permet de recueillir le gaz produit par les levures et de tester la présence de CO<sub>2</sub>.

#### **Etape 1 : visualiser et recueillir le gaz.**

##### **Matériel nécessaire**

- 100 g de farine de blé, eau
- flacon à col, bouchon percé et tube coudé
- cristalliseur, tube à essai

##### **Proposition de protocole expérimental**



Mise en place de la manipulation



On constate un dégagement gazeux

- Placer le mélange eau + levure + farine dans le flacon avec le bouchon percé.
- Retourner le tube à essai préalablement rempli d'eau dans le cristalliseur contenant de l'eau.
- Effectuer la liaison flacon et tube à essai avec le tube coudé.

### Observation

Le tube se remplit de gaz.

### Conclusion

Il y a production d'un gaz. En lien avec l'activité A, la levure est à l'origine de cette production.

Remarque : le montage étant un peu complexe, il peut être réalisé par le professeur devant la classe. Durant la démonstration, les élèves prennent des notes qui serviront lors de la réflexion collective.

### Etape 2 : identifier le gaz. Tester la présence de CO<sub>2</sub>.

Suite à l'étape 1, les élèves se posent la question de la nature du gaz produit. L'enseignant indique alors qu'il existe une méthode simple permettant de tester la présence de CO<sub>2</sub>.

### Matériel nécessaire

- le tube à essai rempli de gaz lors de l'activité 1 fermé
- eau de chaux (solution saturée d'hydroxyde de calcium Ca(OH)<sub>2</sub>) et pipette



Le gaz recueilli trouble l'eau de chaux.

### Protocole proposé

Versez le contenu d'une pipette remplie d'eau de chaux dans le tube à essai (en prenant soin de refermer le tube à essai le plus rapidement possible pour préserver le gaz).

### Observation

L'eau de chaux se trouble.

### Conclusion

Le gaz produit par les levures contient du CO<sub>2</sub>.

Remarque : la quantité de CO<sub>2</sub> doit être suffisante pour troubler l'eau de chaux Ca(OH)<sub>2</sub> selon la réaction  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

CaCO<sub>3</sub> est un précipité insoluble dans l'eau à l'origine du trouble de l'eau de chaux.

Toutefois, si on introduit un excès de  $\text{CO}_2$ , le précipité de  $\text{CaCO}_3$  se redissout et la solution s'éclaircit, car il se passe alors la réaction  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$ .

### **Activité G : le gaz produit par la levure contient de l'éthanol**

Cette activité est motivée par les remarques d'élèves ayant repéré une odeur spéciale de la pâte ou par un apport du professeur. Elle permet de récupérer le gaz produit par les levures et de tester la présence d'éthanol. Pour recueillir le gaz, un protocole alternatif à celui de l'activité F est proposé car adapté à l'utilisation d'un éthylotest.

#### **Etape 1 : recueillir le gaz.**

##### **Matériel nécessaire**

- farine, eau, levure
- ballon à col et ballon de baudruche

##### **Protocole proposé**

- faire un mélange farine + eau + levure dans le ballon à col.
- étirer préalablement le ballon de baudruche pour l'assouplir puis l'ajuster sur le col du ballon.



#### **Etape 2 : tester la présence d'éthanol.**

Comme l'eau de chaux, l'éthylotest est un « réactif » donné par le professeur. Avant tout, il est indispensable d'en lire la notice d'utilisation et d'en expliquer le fonctionnement. On place sur l'éthylotest le ballon de baudruche rempli de gaz lors de l'étape 1.



Mise en place du test



Réaction positive !

### **Observation**

Une coloration verte (initialement jaune orangée) apparaît rapidement dans le réactif de la cartouche indiquant un test positif : il y a présence d'alcool.

### **Conclusion**

Le gaz produit par les levures contient de l'alcool.

Remarque : la quantité d'éthanol produit par la réaction chimique est faible et s'éliminera pendant la cuisson.

### **Conclusion générale**

Finalement, plusieurs réponses sont possibles à la question : « Qu'est-ce que l'enfant a oublié dans la recette du pain ? » Il a pu :

- oublier de mettre de la levure dans sa pâte à pain ;
- oublier de laisser reposer la pâte ;
- mettre la pâte à reposer à une température trop basse.

## **III.7.6 Questions diverses (cycle 4 et lycée)**

Ces questions pourront faire l'objet d'un travail de recherche préalable à la maison.

Qu'est-ce qu'une épidémie ? Une pandémie ?

Quelle a été la plus grande pandémie dont nous ayons connaissance ?

Quelles sont les trois éléments indispensables à la propagation d'une maladie ?

Pourquoi met-on au point des modèles mathématiques simulant l'évolution des épidémies ?

Quelle est la différence entre un vaccin et un antibiotique ?

Quelle est la différence entre une immunité acquise suite à une infection et une immunité acquise via la vaccination ?

Qu'est-ce qui a provoqué la chute spectaculaire du taux de mortalité maternelle dans une maternité autrichienne au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle ?

Qu'est-ce qu'un agent de contagion ? Pouvez-vous en citer quelques-uns ?

Comment les virus de la dengue et de la fièvre jaune sont-ils transmis à l'homme ?

Dans quel organe le parasite du paludisme est-il stocké ?

Quelle fraction de votre poids les micro-organismes que vous hébergez représentent-ils ?



## IV Informations pratiques

### Adresse

Palais de la découverte  
Avenue Franklin D. Roosevelt  
75008 Paris  
Tél. : 01 56 43 20 20  
[www.palais-decouverte.fr](http://www.palais-decouverte.fr)

### Accès

Métro : Champs-Élysées Clémenceau (ligne 1 et ligne 13) ou Franklin Roosevelt (ligne 9)  
Bus : 28, 42, 52, 63, 72, 73, 80, 83, 93  
R.E.R. : Invalides (ligne C)

### Horaires d'ouverture

Du mardi au samedi de 9 h 30 à 18 h, le dimanche et jours fériés de 10 h à 19 h.  
Fermeture les lundis, le 1<sup>er</sup> janvier, le 1<sup>er</sup> mai et le 25 décembre.

### Tarifs scolaires (valables au 1<sup>er</sup> septembre 2017 au 31 août 2018)

Tarif par élève : 4,50 €  
Tarif « éducation prioritaire » : 2,50 €  
Supplément planétarium : 2,50 €

- 1 gratuité pour 5 entrées pour la maternelle
- 1 gratuité pour 12 entrées payantes pour l'élémentaire
- 1 gratuité pour 15 entrées payantes pour le secondaire

Le billet donne accès à toutes les expositions, aux ateliers scientifiques et aux exposés du Palais de la découverte (sur réservation et dans la limite des places disponibles).

### Réservation groupes (à partir de 10 personnes)



[groupe.palais@univscience.fr](mailto:groupe.palais@univscience.fr)



01 56 43 20 25



01 56 43 20 29



Palais de la découverte  
Bureau des groupes  
Avenue Franklin Roosevelt  
75008 Paris